த. பா. நி. (க.வெ.) வரிசை எண்—327

ஒலி

(பட்டப்படிப்பிற்கு உரியது)

ஆசிரியர்

எஸ். சோமசுந்தரம், எம்.எஸ்ஸி.,

உதவிப் பேராசிரியர்,

இயல்பியல் துறை,

பெரியார் ஈ. வெ. ரா. கல்லூரி,

திருச்சிராப்பள்ளி

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—May, 1972

T.N.T.B.S. (C.P.) No. 327

© TAMIL NADU TEXT BOOK SOCIETY

SOUND

S. SOMASUNDARAM

Net Price Rs. 7-00

(No discount)

'Published by The Tamil Nadu Text Book Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare.'

Printed by
BHAGAT PRINTERS,
407, M. K. N. Road,
Alandur, Madras-16.

அணிந்துரை

திரு. இரா. நெடுஞ்செழியன்
(தமிழகக் கல்வி—உள்ளாட்சித் துறை அமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கிப் பதின்மூன்று ஆண்டுகள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் பி.ஏ. வகுப்பு மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்று வந்தனர். 1968ஆம் ஆண்டின் தொடக்கத்தில் புகுமுக வகுப்பிலும் (P.U.C.) 1969ஆம் ஆண்டிலிருந்து பட்டப் படிப்பு வகுப்புகளிலும் அறிவியல் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன்வந்துள்ள கல்லூரி ஆசிரியர்களின் ஊக்கம், பிற பல துறைகளிலும் தொண்டு செய்வோர் இதற்கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறைகளில் நூல்கள் எழுதித் தர முன்வந்த நூலாசிரியர்கள் தொண்டுணர்ச்சி இவற்றின் காரணமாக இத் திட்டம் நம்மிடையே மகிழ்ச்சியும் மன நிறைவும் தரத்தக்க வகையில் நடைபெற்று வருகிறது. இவ் வகையில், கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்க்குத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப்பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக்கழகம் ஆண்டுதோறும் எடுத்துவரும் பெரு முயற்சியைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்லவேண்டும்.

பல் துறைகளில் பணிபுரியும் பேராசிரியர்கள் எத்தனையோ நெருக்கடிகளுக்கிடையே குறுகிய காலத்தில் அரிய முறையில் நூல்கள் எழுதித் தந்துள்ளனர்.

வரலாறு, அரசியல், உளவியல், பொருளாதாரம், தத்துவம், புவியியல், புவியமைப்பியல், மனையியல், கணிதம், பௌதிகம், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல், விலங்கியல், தாவரவியல், பொறியியல் ஆகிய எல்லாத் துறைகளிலும் தனி நூல்கள், மொழி பெயர்ப்பு நூல்கள் என்ற இரு வகையிலும் தமிழ்நாட்டுப் பாட நூல் நிறுவனம் வெளியிட்டுவருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான 'ஒலி' என்ற இந் நூல் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் 327ஆவது வெளியீடாகும். இதுவரை 362 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந் நூல் மைய அரசு கல்வி, சமூக நல அமைச்சகத்தின் மாநில மொழியில் பல்கலைக்கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்டத்தின்கீழ் வெளியிடப்படுகிறது.

உழைப்பின் வாரா உறுதிகள் இல்லை; ஆதலின், உழைத்து வெற்றி காண்போம். தமிழைப் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெறவேண்டும். அதுவே தமிழன்னையின் குறிக்கோளுமாகும். தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக் கழகங்களின் பல்வகை உதவிகளுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனம் கலந்த நன்றி உரியதாகுக.

இரா. நெடுஞ்செழியன்

பொருளடக்கம்

பக்கம்

1. ஒலியும் சீரியல்பான இயக்கமும் ... 1

அறிமுகம் — சீரியல்பான இயக்கம் — சீரியல்பான இயக்கத்தின் கட்டம்—சீரியல்பான இயக்கத்தின் வகைக்கெழு சமன்பாடு—சீரியல்பான இயக்கத்தை வரைபடத்தில் குறித்தல்—சீரியல்பான இயக்கத்தி லுள்ள பொருளின் ஆற்றல்—எடுத்துக்காட்டுகள்—வினாக்கள்.

2. சீரியல்பான இயக்கங்களின் தொகுப்பு ... 16

சீரியல்பான இயக்கங்களின் தொகுப்பு—சம அலைவுநேர சீரியல்பு இயக்கங்களின் ஒரே நேர்கோட்டில் தொகுப்பு—செங்குத்துத் திசையில் சீரியல்பு இயக்கங் களின் தொகுப்பு—செங்குத்துத் திசையில் சீரியல்பு இயக்கங்களின் தொகுப்பு, பகுப்பாய்வு முறையில்—அதிர்வெண்கள் ஏறத்தாழச் சமமாக இருக்கும்போது—வரைபட முறையில் இலிஸாஜூஸ் படங்களைப் பெறுதல்—செய்முறையில் இலிஸாஜூஸ் படங்களைப் பெறுதல்—இலிஸாஜூஸ் படங்களின் பயன்கள்—எடுத்துக்காட்டுகள்—வினாக்கள்.

அலை இயக்கம் ... 41

அலை இயக்கம்—குறுக்கலைகள்—குறுக்கலை தோன்றும் முறை—அலை வேகம், அலை நீளம் தொடர்பு—குறுக்கலை எந்திரம் — நெட்டலைகள் — நெட்டலைகள் தோன்றும் முறை—காற்றில் நெட்டலைகள்—குரோவாவின் வட்டத்தட்டு—ஒலி அலையின் அழுத்தம்—ஒரு தள அலைகளும் கோள அலைகளும்—இடப்பெயர்ச்சி, திசை வேகம், முடுக்கம் ஆகியவற்றின் வளைகோடுகள்—அலை வேகம், அலை நீளம் தொடர்பு—நெட்டலையின் குணங்கள்—முன்னேறும் அலைகளுக்கான சமன்பாடு — முன்னேறும் அலையின் குணங்கள்—சீரியல்பு அலையின் வகைக்கெழு சமன்பாடு-முன்னேறும் அலையின் ஆற்றல், ஆற்றலடர்த்தி, ஆற்றலோட்டம்—எடுத்துக்காட்டுகள் —வினாக்கள்.

பக்கம்

4. கம்பியின் குறுக்கலை அதிர்வுகள் ... 71

அதிரும் கம்பி அல்லது நாண்—கம்பியில் குறுக்கலையின் திசைவேகம்—டெய்டின் கயிற்று முறை—கம்பியின் அதிர்வெண்—நிலையான அலை முறை—கம்பிகளின் அதிர்வு விதிகள்—சோனுமீட்டர் — சோனுமீட்டரைக் கொண்டு இசைக்கவையின் அதிர்வு எண்ணைக் காணல்—மாறுதிசை மின்னோட்டத்தின் அதிர்வு எண்ணைக் காணல் — அதிரும் கம்பியின் அடுக்குச் சுரங்கள்—மெல்டேயின் பரிசோதனை—நெட்டலை அதிர்வுகள்—குறுக்கலை முறையில் அதிர்வு—மெல்டே இழை பரிசோதனை—எடுத்துக்காட்டுகள்—வினாக்கள்.

5. காற்றில் நெட்டலைகள்—காற்றில் ஒலியின் வேகம் ... 102

காற்றில் ஒலியின் வேகம்—நியூட்டனின் வாய்பாடு—இலாப்லாஸின் திருத்தம்—அழுத்தம், வெப்பநிலை, ஈரப்பதன் ஆகியவற்றின் விளைவு—வேக வாய்பாட்டின் பயன்கள் — திரவங்களில் ஒலி வேகம்—உலோகத் தண்டில் நெட்டலையின் வேகம்—பல்வேறு பொருள்களில் ஒலியின் வேகம்—எடுத்துக்காட்டுகள்—வினாக்கள்.

6. அலைகளின் மேற்பொருந்தல் ... 119

மேற்பொருந்தல் கோட்பாடு—குறுக்கீடு — குறுக்கீட்டுப் பகுப்பாய்வு முறை — குறுக்கீட்டைச் செயல் முறையில் விளக்குதல் —விம்மல்கள்—விம்மல்களைச் செயல்முறையில் விளக்குதல்—விம்மல்களின் பகுப்பாய்வு முறை—விம்மல்களின் பயன்கள் — விம்மல்களுக்கும் குறுக்கீடுகளுக்கும் உள்ள வேறுபாடு—கூட்டோசைகள்— கூட்டோசைகளின் கொள்கை—எடுத்துக்காட்டுகள்—வினாக்கள்.

7. நிலையான அலைகள் ... 140

நிலையான அலைகள் தோன்றும் முறை—நிலையான அலைகளின் பகுப்பாய்வு முறை—நிலையான அலைகளின் குணங்கள்—நிலையான அலைகளின் ஆற்றல்—ஆற்றலைப் பகுப்பாய்வு முறையில் காணல்—முன்னேறும் அலைகளையும் நிலையான அலைகளையும் ஒப்பிடல்—வினாக்கள்.

பக்கம்

8 இயல்பு தடையுறு திணிபபு அதிாவுகள — 154

இயலபு அதிாவுகள—தடையுறு அதிாவுகள—தடையுறு அதிாவுககான சமனபாடு — திணிபபு அதிாவுகள—திணிபபு அதிாவுககான சமனபாடு—ஒததிாவு—ஒததிாவுககான எடுததுககாடடுகள—கடடத்தின மேல தடையின விளைவு—ஒததிரவின கூாமை—எடுததுககாடடுகள—விஞககள

9 இசை ஒலிகளின குணஙகளும அவற்றின் பகுபபாயவும — 174

இசை ஒலிகளும ஓசைகளும—உரபபு—டெசிபெல— போன—ஒலியின வலிமை—அலையின திறன—சுருதி—சாவாட சககரம—வடடசசஙகு—சுரப பணபு — ஹெலமஹோலடஸின கொளகை — ஒததிாவி—ஒததிாவியினகொளகை—பலகூடடுஒலியின பகுபபாயவு—மினனோடடததால காககபபடும இசைக கவை—இசைககவையின செயல—வாலவுகளினல காககபபடும இசைக கவை—எதிாமின கதிா அலை வரைவி—பயனகள—எடுததுககாடடுகள—விஞககள

10 இசைச சுர அளவீடுகள — 207

இசை அளவடுகளில சில வரையறைகள—டயடானிக சுரவரிசை—டயடானிக அளவீடடை அமைதது—இசை இடைவெளிகள—ஒததிசையும ஒவவா இசையும—ஹெலமஹோலடஸின ஒததிசை ஒவவா இசைக கொளகை—மேயரின அடடவணை—சில முதனமை இசை இடைவெளிகளின ஒததிசை—டயடானிக அளவீடடின குறைபாடும சமசுதி அள வீடடின தேவையும—சமசுதி அளவீடு—பல்வேறு இசைச சுர அளவீடுகளின ஒபபீடு—எடுததுக காடடுகள—விஞககள

11 காறறுத தமபஙகளின அதிாவு — 227

துளை இசைககுழல—மூடிய முனைககுழலில ஒலி எதிரொலிததல—மூடிய குழலில காறறுத தமபததின அதிாவு எண—திறநத முனைககுழல—முனைத திருததம—சுரபபணபு மேலசுரஙகளமீது முனைத திருததத தின விளைவு—ஒததிாவுததமபப பரிசோதனை—பாடும சுடா—அதிரும காறறுத தமபஙகளில கணு எதிாக கணுககளைச செயல முறையில காடடல—அழுதத வேறுபாடடுச சுடா—எடுததுககாடடுகள—விஞககள

பக்கம்

12. உலோகத் தண்டுகள், தகடுகள், சவ்வுகளில் அதிர்வுகள் ... 247

உலோகத் தண்டின் நெட்டலை வகை அதிர்வு—குறுக்கலை வகை அதிர்வு—இசைக் கவை—சவ்வுகள்—இழுத்துக் கட்டப்பட்ட சவ்வுகள், மெல்லிய தகடுகள் ஆகியவற்றின் அதிர்வுகள்—வினாக்கள்.

13. ஒலியியல் அளவீடுகள் ... 255

ஒலி வேகத்தை அளவிடல்—ஹெப்பின் முறை—குண்ட் குழல் வாயுக்களில் ஒலி வேகம்—அதிர் வெண்ணை அளத்தல்—ஃபோனிக் சக்கரம்—ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப் முறை—விழும் தட்டு முறை—எடுத்துக் காட்டுகள்—வினாக்கள்.

14. டாப்ளர் விளைவு ... 273

ஒலி மூலம் இயக்கத்திலும், ஒலி வாங்கியும் ஊடகமும் நிலையிலிருக்கும்போது—ஒலிவாங்கி இயக்கத்திலும், ஒலி மூலம் நிலையிலும்—இரண்டும் இயக்கத்தில்—சுருதியில் காற்றினால் விளையும் மாற்றம்—டாப்ளர் விளைவின் பொது முறை—அலை முகங்களின் வரைபடம்—ஒலியைவிட வேகத்தில் செல்லும் அலை முகங்கள்—ஒலியினும் கடுகிச் செல்லும் வானவூர்தி—துப்பாக்கிக் குண்டின் விரைவு—ஒளியியலில் டாப்ளர் விளைவு—எடுத்துக்காட்டுகள்—வினாக்கள்.

15. தொழில்துறையில் ஒலியியல் கோட்பாடுகளின் பயன்கள் ... 294

ஒலியைப் பயன்படுத்தித் தொலைவைக் கணக்கிடல்—ஒலிவரவைப் பதிவு செய்தல்—மாற்று முறை—கடலில் ஒலியைக் கொண்டு தொலைவைக் கணக்கிடல்—வான ஊர்தியை ஒலியைக்கொண்டு கண்டு பிடித்தல்—ஹைடிரோஃபோன்—புவி அதிர்ச்சியைக் காணும் கருவி—வினாக்கள்.

16. கட்டட ஒலியியல் ... 303

அறிமுகம்—எதிர்முழக்கம்—இசை அரங்கிற்கான ஒலியியல் தேவைகள்—எதிர்முழக்கமும் சபைன் வாய்பாடும்—போதுமான எதிர்முழக்கம்—உட்கவர்

பக்கம்

குணகத்தைக் காணல்—எதிர்முழக்க அறை முறை—நிலையான அலைமுறை—நல்ல இசை அரங்கு கட்ட ஒலியியல் முறையில் கருதப்பட வேண்டியவை—ஓசை—ஓசையை அளவிடுதல்—ஓசைக் குறைப்பும் ஓசையிலிருந்து பாதுகாத்தலும்—வினாக்கள்.

17. செவி உணரா ஒலியியல் ... 322

செவி உணரா ஒலி—அழுத்த மின்னியல் விளைவு—படிகத் துண்டின் அதிர்வுகள்—அழுத்த மின்னியற்றி—காந்தப் பரிமாண மாற்ற விளைவு—காந்தப் பரிமாண மாற்ற அலைவியற்றி—செவியுணரா ஒலிகளைக் கண்டறிதல் — அவற்றின் பயன்கள் — தொழில்துறையில் பயன்கள் — மருத்துவத் துறையில் பயன்கள் — வினாக்கள்.

18. ஒலிப்பதிவும் ஒலி மீட்பும் ... 338

வட்டத்தட்டு ஒலிப்பதிவு—வட்டத்தட்டு—மின்னியல் முறையில் பதிவு செய்தல்—ஒலி மீட்பு-காந்த ஒலி மீட்புக் கருவி—ஒளியியல் முறையில் பதிவு செய்தல்—ஏயா விளக்கு—பதிவு செய்யும் முறை—மூடி முறை—மாறுபடு பரப்பளவு முறை—மெல்லேட்டுப் பதிவிலிருந்து ஒலி மீட்பு—காந்தமுறை ஒலிப் பதிவீடு—வினாக்கள்.

Bibliography ... 353

கலைச்சொற்கள் ... 354

1. ஒலியும் சீரியல்பான இயக்கமும்

1·1. அறிமுகம்

நமக்குப் பலவிதமான வேறுபட்ட ஒலிகள் நன்முகத் தெரிந்தவை. இன்றைய நாகரிக உலகில் பல்வேறு ஒலிகளை எழுப்பக் கூடிய புகைவண்டி, மோட்டார் கார்கள், வானவூர்தி, தொழிற்சாலைகள், ஒலிபரப்பிக் கருவி ஆகியவை இன்றியமையா இடம் பெற்றுள்ளன. இந்த ஒலிகளிலிருந்து விலகி, அமைதியான சூழ்நிலையில் உள்ளவை கிராமப்புறங்களே. ஒரு சில நேரங்களில் துன்பம் தருவதாக இருந்தாலும் அதே ஒலி நாம் ஒருவரோடொருவர் பேசுவதற்கும் நம் எண்ணங்களை மொழி வழியாகப் பிறருக்கு உணர்த்துவதற்கும் பயன்படுகிறது. ஒலி அலை நம் தொண்டையில் எழுப்பப்படுகிறது. இதே ஒலியைச் சிலர் சற்றுக் கட்டுப்பாட்டுடன் எழுப்பிச் செவிக்கு இன்பம் பயக்கக்கூடிய இசையாகப் பாடுகின்றனர். இசைக் கருவிகளும், அவ்விதமான ஒலியை எழுப்புகின்றன.

ஒலியானது செவியில் உண்டாக்கப்படும் ஓர் உணர்வு என்றுதான் நாம் அறிவோம். ஆனல், அது செவிக்கு வெளியே நிகழும் ஒரு நிகழ்ச்சி என்று அறிவியலார் எண்ணுகிருர்கள். ஒலியின் பிறப்பு, அதன் திசைவேகம், அது எவ்வாறு ஊடகத்தில் பரவுகிறது, நம் செவியில் எவ்வாறு உணர்வூட்டுகிறது, அதன் தன்மைகள், குணங்கள் ஆகியவற்றைப்பற்றிப் படிப்பதுதான் ‘ஒலி இயல்’ எனப்படும்.

ஒலியை எழுப்பும் எந்தப் பொருளும் அதிர்வு நிலையில் இருக்கும். அதிரும் பொருள்களால்தான் ஒலியைத் தோற்றுவிக்க முடியும். எடுத்துக்காட்டாக மணி, இசைக்கவை, வயலின் கம்பி, ஆர்கன் குழலில் உள்ள காற்று முதலியன ஒலியை எழுப்பும்போது அதிர்வு நிலையில் இருக்கின்றன. மணி அல்லது இசைக்கவையின் அதிர்வு நிலையைச் செய்முறையில் விளக்கலாம்.

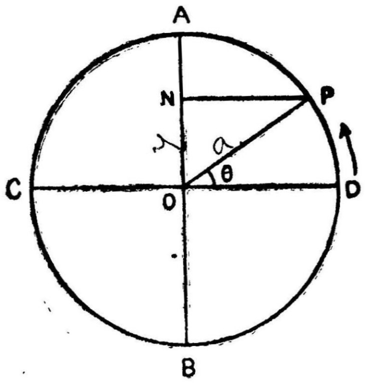
ஒரு சிறிய தக்கைப் பந்து (Pith Ball) ஒரு நூலில் கட்டித் தொங்க விடப்படுகிறது. இது அதிரும் இசைக்கவையைத் தொட்டால் வேகமாகத் தள்ளப்படும். ஆர்கன் குழலில் உள்ள காற்றின் அதிர்வை அதன் பக்கத்தில் கொண்டு செல்லப்படும் மணல் நிரம்பிய ஒரு காகிதத் துண்டால் அறியலாம். காகிதத் துண்டில் உள்ள மணல், குழலில் உள்ள காற்று அதிரும்போது துள்ளுவதைக் காணலாம். ஆகவே, ஒலியை எழுப்பும் ஒவ்வொரு பொருளும் அதிர்வு நிலையில் இருப்பதைக் காண்கிறோம். ஒலி எழுப்பும் பொருள்கள் ஒருவித குறிப்பிட்ட அதிர்வு நிலையில் (Periodic Motion) இருக்கின்றன. அலைவு இயக்கம் என்பது சீரான இடை வெளிகளில் திரும்பத் திரும்ப நிகழும் இயக்கம். இதைச் சீரலைவு இயக்கம் அல்லது சீரியல்பான இயக்கம் (Simple Harmonic Motion) என்கிறோம்.

1·2. சீரியல்பான இயக்கம் (Simple Harmonic Motion)

சீரியல்பான இயக்கத்திலுள்ள ஒரு பொருள் உண்டாக்கும் அலை இயக்கம் எளிமையானது.

நேர்கோட்டில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் ஒரு துகளின் முடுக்கம் அக் கோட்டிலுள்ள ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியை நோக்கியும், முடுக்கத்தின் மதிப்பு அப் புள்ளியிலிருந்து துகள் வயப்பட்டிருக்கும் இடப்பெயர்ச்சிக்கு நேர் விகிதத்திலும் இருந்தால், அத் துகள் சீரியல்பான இயக்கத்தில் இயங்குகிறது எனச் சொல்லப் படுகிறது.

சீரியல்பான இயக்கத்தை ஒரு வட்ட இயக்கத்தின் அதன் விட்டத்தின்மேல் உள்ள எறிவு (Projection) என்று கொள்ளலாம்.



படம் 1

P என்ற துகள் ஒரு வட்டத்தில் சுற்றி வருவதாகக் கொள்வோம். '*O*' என்பது வட்டத்தின் மையம். *AB* என்பது செங்குத்து விட்டம். *CD* என்பது கிடைமட்ட விட்டம். *P* என்ற துகள் *D* என்ற புள்ளியிலிருந்து கிளம்புவதாகக் கொள்வோம். சீரான கோணத்திசை வேகத்துடன் இயங்கினால் t விநாடிகளுக்குப் பின் அது *P* என்ற இடத்தில் இருக்கும். *P*-யிலிருந்து *AB* விட்டத்தின் மேல் ஒரு செங்குத்துக் கோடு வரைந்தால் அதன் அடி '*N*' என்ற புள்ளி

யாகும். P துகள் D-யில் இருக்கும்பொழுது N, O-வில் இருக்கட்டும். P மேலே நகர நகர 'N' என்ற புள்ளி 'O'-விலிருந்து மேல்நோக்கி நகரும். P, A-க்கு வரும்பொழுது N-ம் A-க்கு வந்துவிடும். P, A-யிலிருந்து Cஐ நோக்கிச்செல்லும்போது N, A-யிலிருந்து மையம் 'O'-வை நோக்கிச் செல்லும். P, C-யிலிருந்து D-க்குச் செல்லும்போது N, O-விலிருந்து B-க்குச் சென்று மீண்டும் திரும்பிவிடும். ஆகவே, P துகள் வட்டத்தை ஒருமுறை சீரான கோண வேகத்துடன் சுற்றும்போது N புள்ளி AB விட்டத்தின்மேல் மேலும் கீழுமாக ஒருமுறை இயங்கும். N புள்ளியின் இயக்கம் சீரியல்பான இயக்கமாகும்.

'O' விலிருந்து N புள்ளி விலகி உள்ள தொலைவு அதன் இடப்பெயர்ச்சி எனப்படும். எந்த ஒரு கணத்திலாவது துகள் P என்ற புள்ளியில் இருக்கட்டும். OP என்ற கோடு OD-க்கு $\theta°$ கோணத்தில் இருக்கும்.

$$ON = OP \sin \theta$$

ON என்பதை y என்று கொண்டால்,

$$y = OP \sin \theta$$

$$y = a \sin \theta$$

இது சீரியல்பான இயக்கத் துகளின் பெரும இடப் பெயர்ச்சி ஆகும். இதை அதன் வீச்சு (Amplitude) என்கிறோம்.

$$y = a \sin \omega t \qquad \because \theta = \omega t.$$

இந்தச் சமன்பாடு சீரியல்பான இயக்கத்தைக் குறிக்கும். y அதன் இடப் பெயர்ச்சி. (ω = கோணத் திசைவேகம்)

$\frac{\omega}{2\pi}$ என்பது அதன் அதிர்வு எண்.

$$\text{அதிர்வு எண் } n = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

அலைவு நேரம் (Period) என்பது துகளின் ஒரு முழு முன்பின் இயக்கத்திற்கு அது எடுத்துக்கொள்ளும் நேரமாகும்.

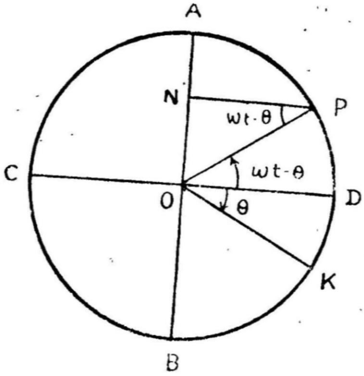
1·3. சீரியல்பான இயக்கத்தின் கட்டம் (Phase or Epoch)

சீரியல்பான இயக்கத்திலுள்ள ஒரு துகள் தன் இயக்கத்தில் எந்த நிலையில் இருக்கிறது என்பதை அதன் கட்டம் (Phase)

குறிக்கும். முன் கூறிய வட்ட இயக்கத்தில் *P* என்ற துகள் *D*-யில் இருந்து கிளம்பாமல் *K* என்ற புள்ளியிலிருந்து கிளம்புவதாகக் கொள்வோம். இப்போது அதன் தொடக்க இடப்பெயர்ச்சி சுழியாக (Zero) இராது. தொடக்கத்திலேயே அதற்கு இடப் பெயர்ச்சி (Initial displacement) இருக்கும்.

$\angle KOD = \theta$ ஆக இருக்கட்டும்.

P-ன் நேரம் *K*-யிலிருந்து கணக்கிடப்படுவதால்



படம் 2

$$\angle KOP = \omega t$$
$$\angle DOP = \omega t - \theta$$
$$ON = OP \sin \angle DOP$$

அல்லது $y = a \sin (\omega t - \theta)$

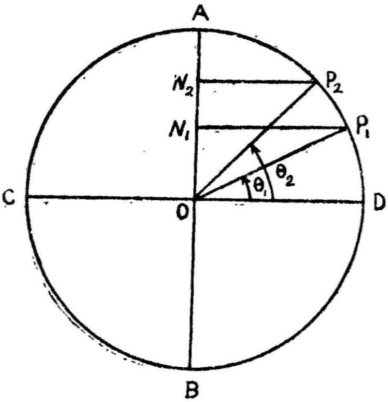
இங்குச் சீரியல்பான இயக்கத்தின் கட்டம் $(-\theta)$ ஆகும். ஆகவே $y = a \sin (\omega t - \theta)$ என்பது சீரியல்பான இயக்கத்தின் பொதுச் சமன்பாடு ஆகும். *P* என்ற துகள் *CD* கோட்டிற்கு மேலே உள்ள ஏதாவது ஒரு புள்ளியிலிருந்து கிளம்பினுல் சமன்பாடு

$$y = a \sin (\omega t + \theta)$$

என்ருகும். சம அலேவுள்ள இரண்டு தனித்தனி சீரியல்பான இயக்கங்களே எடுத்துக்கொள்வோம். பிறகு, $y_1 = a \sin (\omega t + \theta_1)$

$$y_2 = b \sin (\omega t + \theta_2)$$

என்பவை அவற்றின் சமன்பாடுகள். θ_1, θ_2 என்பவை அவற்றின் கட்டங்களேக் குறிக்கும்.



படம் 3

$(\theta_2 - \theta_1)$ என்பதுதான் கட்ட வேறுபாடு ஆகும். $\theta_2 > \theta_1$ ஆனுல் $(\theta_2 - \theta_1)$ என்பது இரு சீரியல்பான இயக்கங்களின் கட்ட வேறுபாடு (Phase difference) எனப்படும். இங்கு இரண்டாவது சீரியல்பான இயக்கம் முதலாவதைக் காட்டிலும் முன்னே ஓடுகிறது (Leads). முதல் இயக்கம் இரண்டாவதைக் காட்டிலும் பின்தங்கிவிடுகிறது (lags).

1·4. சீரியல்பான இயக்கத்தின் வகைக்கெழுச் சமன்பாடு (Differential Equation)

சீரியல்பான இயக்கத்தின் சமன்பாடு, $y = a \sin (\omega t - \theta)$.

y என்பது அதன் இடப்பெயர்ச்சி (Displacement) ஆகும்.

$\frac{dy}{dt}$ அதன் திசைவேகத்தைக் (Velocity) குறிக்கும்.

$$\therefore \frac{dy}{dt} = a\,\omega \cos (\omega t - \theta)$$

திசைவேகமும் ஒரு சீரியல்பான இயக்கமாகவே இருக்கும். $\cos (\omega t - \theta)$-ன் பெருமதிப்பு 1 ஆகும். எனவே, திசைவேகத்தின் பெருமதிப்பு

$$\frac{dy}{dt} = a\,\omega.\,1 = a\,\omega.$$

சீரியல்பான இயக்கத்தில் இருக்கும் துகள் அதன் நடுப் புள்ளியிலிருந்து இருபுறங்களிலும் செல்லும் தொலைவு வீச்சு (Amplitude) ஆகும். திசைவேகத்தைக் கீழ்க்கண்டவாறும் எழுதலாம்.

$$\frac{dy}{dt} = a\,\omega \cos (\omega t - \theta)$$

$$= a\,\omega \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} - \theta\right)$$

இதிலிருந்து திசைவேகமும் சீரியல்பான இயக்கத்தில் இருக்கிறது என அறிகிறோம். ஆனல், அதன் வீச்சு ω பங்கு மிகுந்திருக்கும். இதன் கட்டம் இடப்பெயர்ச்சியின் கட்டத்தைவிட $\frac{\pi}{2}$ அல்லது 90° அதிகமானது. திசைவேகம் இடப்பெயர்ச்சியைவிட 90° அல்லது $\frac{\pi}{2}$ முன்னேடும் (Leads).

$$\frac{dy}{dt} = a\,\omega \cos (\omega t - \theta)$$

$$= a\,\omega \sqrt{1 - \sin^2 (\omega t - \theta)}$$

$$= a\,\omega \sqrt{1 - \frac{y^2}{a^2}} \quad \left[\because \sin (\omega t - \theta) = \frac{y}{a}\right]$$

$$= \omega \sqrt{a^2 - y^2}$$

$$\frac{dy}{dt} = \omega \sqrt{a^2 - y^2}$$

திசைவேகம் $= \omega \sqrt{a^2 - y^2}$

$$y = 0 \text{ ஆனுல் } \frac{dy}{dt} = a\,\omega$$

இடப்பெயர்ச்சி சுழியாக இருக்கும்போது (சமநிலையில்) வேகம் பெருமதிப்பாயிருக்கும்.

$$y = a \text{ ஆனுல் } \frac{dy}{dt} = 0$$

இடப்பெயர்ச்சி வீச்சுக்குச் சமமாக இருக்கும்போது வேகம் $= 0$.

$\frac{dy}{dt} = a\,\omega \cos(\omega t - \theta)$ என்ற சமன்பாட்டை எடுத்துக் கொள்வோம்.

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -a\,\omega^2 \sin(\omega t - \theta)$$

$$= -\omega^2 y \quad \left[\because y = a \sin(\omega t - \theta)\right]$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2 y$$

$\frac{d^2y}{dt^2}$ என்பது சீரியல்பான இயக்கத்திலுள்ள துகளின் முடுக்கம். அது இடப்பெயர்ச்சி y-க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது.

$\frac{d^2y}{dt^2} \propto -y$: எதிர்க் குறி (—ve sign) முடுக்கம் எப்பொழுதும் சமநிலைப் புள்ளியை (Mean Position) நோக்கியே இருக்கிறது என்பதைக் காட்டுகிறது. இதுதான் சீரியல்பான இயக்கத்தின் வரையறை (Definition) ஆகும். ஆகவே,

$$\boxed{\frac{d^2y}{dt^2} + \omega^2 y = 0}$$

என்பது சீரியல்பான இயக்கத்தைக் குறிக்கும் வகைக்கெழுச் சமன் பாடு ஆகும்.

அலைவு நேரம் (Period)

இந்த வகைக்கெழுச் சமன்பாட்டிலிருந்து சீரியல்பு இயக்கத்தி லுள்ள துகளின் அலைவு நேரத்தைக் கணக்கிடலாம்.

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \omega^2 y = 0$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2 y$$

—எதிர்க் குறி (negative sign) முடுக்கமும் இடப்பெயர்ச்சியும் எதிர்த்திசைகளில் இருப்பதைக் குறிப்பதால், முடுக்கத்தின் எண் மதிப்பு (magnitude)

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \omega^2 y$$

$$\omega^2 = \frac{\left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)}{y}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{\text{முடுக்கம்}}{\text{இடப்பெயர்ச்சி}}}$$

$$\text{ஆனல் } \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{\text{முடுக்கம்}}{\text{இடப்பெயர்ச்சி}}}}$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{1}{\frac{\text{முடுக்கம்}}{\text{இடப்பெயர்ச்சி}}}}$$

$y = 1$ எனக் கொண்டால்,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{\text{ஓர் அலகு இடப்பெயர்ச்சிக்கான முடுக்கம்}}}$$

அலைவு நேரம் $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{1}{\text{ஓர் அலகு இடப்பெயர்ச்சிக்கான முடுக்கம்}}}$

சீரியல் இயக்கத்திலுள்ள துகளின் நிறை 'm' எனக் கொண்டால்,

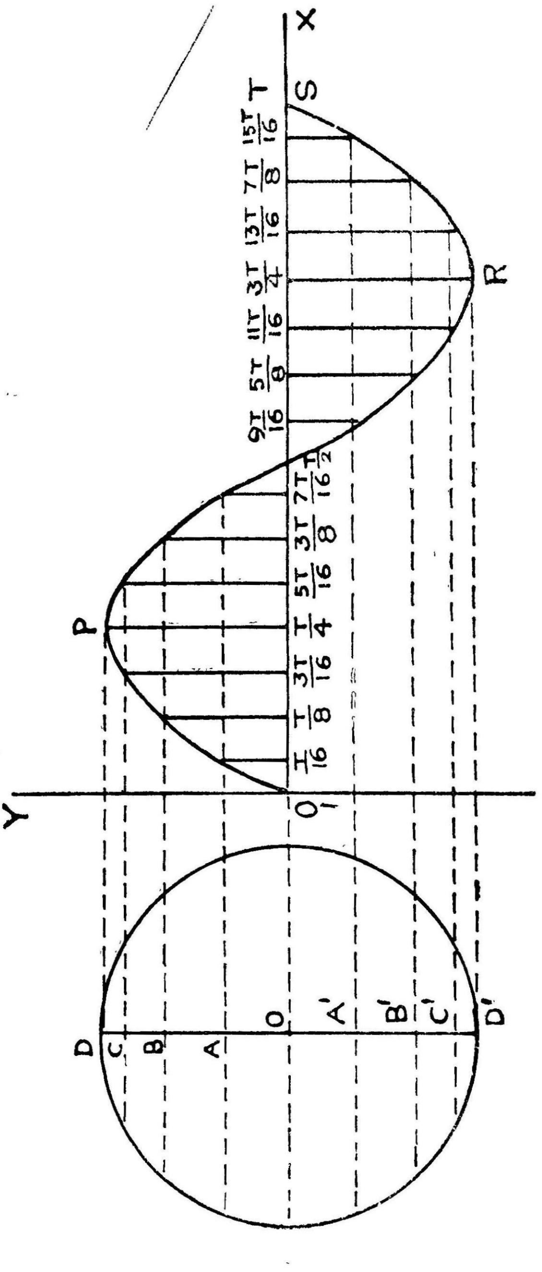
$$\text{அலைவு நேரம்} \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega^2}}$$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{m}{m\omega^2}}$$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{\text{சீரியல்பு இயக்கத்திலுள்ள துகளின் நிறை}}{\text{ஓரலகு இடப்பெயர்ச்சிக்கான மீள்விசை}}}$$

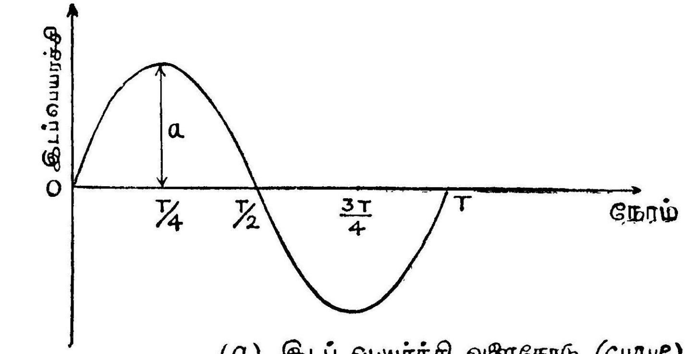
1·5. சீரியல்பான இயக்கத்தை வரைபடத்தில் குறித்தல்

சீரியல்பான இயக்கத்திலுள்ள புள்ளி 'N'-ன் இடப்பெயர்ச்சி வளைகோட்டை (Displacement Curve) நாம் வரையலாம். இந்த வளைகோடு 'N'-ன் இடப்பெயர்ச்சிக்கும், அது 'O' புள்ளியிலிருந்து கிளம்பியபின் கடந்த நேரத்திற்கும் உள்ள தொடர்பைக் காட்டும். $ABCD$ என்ற வட்டத்தில் செல்லும் துகள் இயக்கத்தின் AB விட்டத்தின்மீது, எறிவுதான் (Projection) 'N'-ன் இயக்கமாகும். O_1 என்பது தொடக்கப்புள்ளி (Origin) OX நேரத்தைக் குறிக்கும் X அச்சு ஆகும். O-விலிருந்து 'N'-ன் இடப்பெயர்ச்சி Y அச்சில் குறிக்கப்படுகிறது. ஏதாவது ஒரு நேரம் t-யில் ($= o, a$) சுற்றும் துகள் P என்ற புள்ளியில் இருக்கும். $\angle AOP = \theta = \omega t$. '$N$'-ன் இடப்பெயர்ச்சி Y அச்சில் P என்ற புள்ளியால் குறிக்கப் படுகின்றது. இதே போன்று பல்வேறு நேரங்களில் இடப்பெயர்ச்சி யைக் குறித்தால் படம் 4-ல் உள்ளதுபோல் ஒரு வளைகோடு கிடைக்கும். இந்த வளைகோட்டில் இருந்து எந்த ஒரு நேரத்திலும் இடப்பெயர்ச்சியைக் கணக்கிடலாம். வளைகோட்டில் இருந்து $\frac{1}{4}$ அலைவு நேரத்தில் $(T/4)$ இடப்பெயர்ச்சி பெருமதிப்பாக உள்ளது என அறிகிறோம். இதேபோல் $\frac{1}{2}$ அலைவு நேரத்தில் $(T/2)$ இடப்பெயர்ச்சி சுழியாக ஆவதைக் காண்கிறோம். மீண்டும் $\frac{3}{4}T$, T ஆகிய நேரங்களில் இடப்பெயர்ச்சி முறையே எதிர்த் திசையில் பெருமமதிப்பாகவும், சுழியாகவும் இருப்பதைக் காண் கிறோம். இந்த வரைபடம் சைன் (sin) வளைகோட்டைப்போல் இருக்கும்.

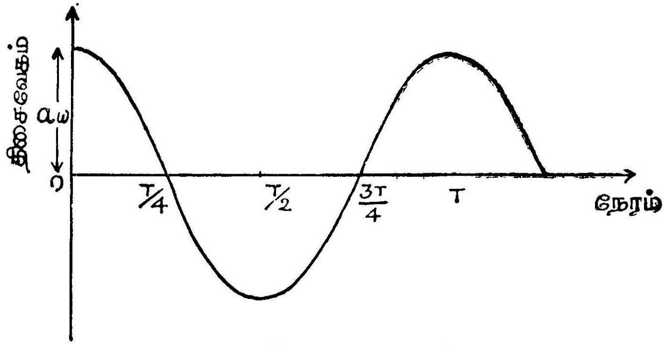


படம் 4

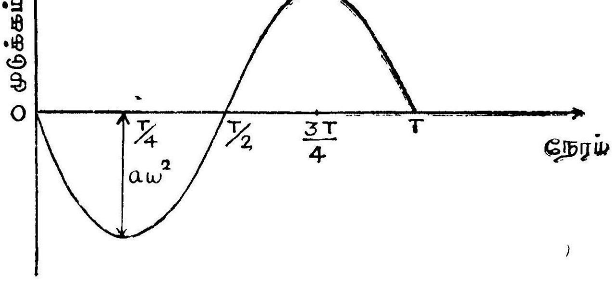
இதேபோன்று சீரியல்பு இயக்கத்திலுள்ள துகளின் திசை வேகம், முடுக்கம் ஆகியவற்றின் வரைபடங்களையும் குறிக்கலாம். கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளவை சீரியல்பான இயக்கத்திலுள்ள ஒரு



(a) இடப் பெயர்ச்சி வளைகோடு (curve)



(b) திசை வேகத்தின் வளைகோடு



(c) முடுக்கத்தின் வளைகோடு

படம் 5

துகளின் இடப்பெயர்ச்சி, வேகம், முடுக்கம் ஆகியவற்றின் வளை கோடுகளின் (Curve) வரைபடங்களாகும்.

மேலே உள்ள வளைகோடுகளை ஒப்புநோக்கினல் இடப்பெயர்ச்சி சுழியாக இருக்கும்போது திசைவேகம் பெருமதிப்புடையதாகவும் $(t=O, T/2, T)$, இடப்பெயர்ச்சி பெருமதிப்புடையதாக இருக்கும் போது திசைவேகம் சுழியாகவும் இருக்கக் காண்கிறோம். ஆகவே தான் இடப்பெயர்ச்சிக்கும், திசைவேகத்திற்கும் கட்ட வேறுபாடு (Phase difference) $\pi/2$ என்று சொல்லுகிறோம். $\pi/2$ என்பது $T/4$-க்குச் (—கால் அலைவு நேரத்திற்கு) சமம் ஆகும்.

இதேபோல் முடுக்கம், $\frac{d^2y}{dt^2} = -a\omega^2 (\sin \omega t - \theta)$

$$= -\omega^2 y$$

முடுக்கத்திற்கான வரைபடம், இடப்பெயர்ச்சி வரைபடத் தைப்போல் இருக்கும். அதன் வீச்சு ω^2 பங்கு அதிகமாக இருக் கும். அத்துடன் y அதிகரிக்கும்போது முடுக்கம் எதிர்ப்புறத்தில் அதிகரிக்கத் தொடங்கும். எனவே, இடப்பெயர்ச்சிக்கும் முடுக்கத் திற்கும் கட்ட வேறுபாடு (Phase difference) π அல்லது 180° எனக் கூறுகிறோம். இந்த வரைபடங்கள் படம் 5-ல் காண்பிக்கப்பட் டிருக்கின்றன.

1·6. சீரியல்பான இயக்கத்திலுள்ள பொருளின் ஆற்றல் (Energy)

அதிர்வு நிலையிலுள்ள ஒரு பொருளுக்கு நிலையாற்றல் (Potential Energy), இயங்கு ஆற்றல் (Kinetic Energy) என இருவகை ஆற்றல்கள் உண்டு.

$\frac{dy}{dt} = a\,\omega \cos (\omega t - \theta)$ என்பது பொருளின் திசை வேகம்.

இயங்கு ஆற்றல் $(\frac{1}{2} mv^2) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(\frac{dy}{dt}\right)^2$

$$= \frac{1}{2} \cdot m \cdot a^2\omega^2 \cos^2 (\omega t - \theta) \quad \ldots\ldots(1)$$

y இடப் பெயர்ச்சியில் பொருள் இருக்கும்போது அதன் முடுக்கம்

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2 y$$

m என்பது பொருளின் நிறை.

$$\text{மீள்விசை} = m\,\omega^2 y$$

மீள்விசை சம நிலையை நோக்கிச் செயல்படும். இதற்கு எதிர்த் திசையில் dy இடப்பெயர்ச்சி ஏற்பட, செய்யப்படும் வேலை

$$= m\omega^2 . y . dy$$

இடப்பெயர்ச்சி சுழியிலிருந்து y-க்கு அதிகரிக்கும்பொழுது

செய்யப்படும் வேலை $= \int_0^y \cdot m\omega^2 \cdot y \cdot dy$

$$= m\,\omega^2 \left[\frac{y^2}{2}\right]$$

$$= \tfrac{1}{2} \cdot m\omega^2 \cdot a^2 \sin^2 (\omega t - \theta) \qquad \ldots\ldots(2)$$

இந்த வேலை பொருளின் இடப் பெயர்ச்சி அடைந்த நிலையில் நிலை ஆற்றலாக (Potential Energy) அமையும். சமன்பாடுகள் (1) ஐயும், (2) ஐயும் கூட்ட மொத்த ஆற்றல் கிடைக்கும்.

மொத்த ஆற்றல் = நிலை ஆற்றல் + இயக்க ஆற்றல்.

$$= \tfrac{1}{2}\, ma^2\,\omega^2.\ \cos^2\ (\omega t - \theta) + \tfrac{1}{2}\, ma^2\omega^2\ \sin^2\ (\omega t - \theta).$$

$$= \tfrac{1}{2}\, ma^2\omega^2 \left[\{ \sin^2\ (\omega t - \theta) \} + \cos^2\ (\omega t - \theta) \right]$$

$$= \tfrac{1}{2}\, ma^2\omega^2$$

இது நிலையாற்றலின் பெருமதிப்புக்கு அல்லது இயங்கு ஆற்றலின் பெருமதிப்புக்குச் சமமானது.

மொத்த ஆற்றல் $= \tfrac{1}{2}\, m.\ \omega^2 a^2$

$$= \tfrac{1}{2}\, m.\ [2\pi n]^2.\ a^2$$

$$\boxed{E = 2\,\pi^2 m\, n^2 a^2}$$

அல்லது $n^2 = \frac{1}{T^2}$ எனக் குறிப்பிட்டால்,

$$\boxed{E = \frac{2\pi^2 m\, a^2}{T^2}} \quad \text{அல்லது } E \propto \frac{a^2}{T^2}$$

ஆற்றல் E, வீச்சின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்திலும் (Directly Proportional) அலைவு நேரத்தின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்திலும் (Inversely Proportional) இருக்கிறது.

இங்கு, ஆற்றலை வீணாக்கும் விசை (Dissipative Force) எதுவும் செயல்படவில்லை என்று கொண்டிருக்கிறோம். எனவே, ஆற்றல் மாறாக் கோட்பாட்டின்படி எந்த ஒரு கணத்திலும் ஆற்றல் மாறாமல், ஒரு மாறிலியாகவே இருக்கும்.

எடுத்துக்காட்டுகள்

1. ஒரு துகள் சீரியல்பான இயக்கத்தில் இருக்கிறது. அதன் வீச்சு 0·1 செ.மீ. நடுப்புள்ளியைத் தாண்டும்போது அதன் திசை வேகம் 3 மீட்டர்கள்/விநாடி. அதன் அதிர்வு எண் என்ன?

$$y = a \sin(\omega t + \phi)$$

வகைப்படுத்த (differentiating)

$$v = \frac{dy}{dt} = a\omega \cos(\omega t + \phi)$$

நடுப்புள்ளியைத் தாண்டும்போது, துகளின் திசைவேகம் பெருமதிப்பாக இருக்கும். ஆகவே,

$$v_m = a \cdot \omega$$

$$\omega = \frac{v_m}{\text{வீச்சு}} = \frac{300}{0 \cdot 1} = 3000/\text{விநாடி}$$

$$n = \frac{3000}{2\pi} = 477 \cdot 3 \text{ அதிர்வுகள்/விநாடி}$$

அதிர்வு எண் = 477·3 அதிர்வுகள்/விநாடி

2. ஒரு சீரியல்பான இயக்கத்திலுள்ள துகளின் வேகம், அது நடுப்புள்ளியிலிருந்து 0·08 மீட்டர் தொலைவில் உள்ளபோது விநாடிக்கு 0·16 மீட்டர் ஆகும். 0·12 மீட்டர் தொலைவில் உள்ள போது அதன் வேகம் 0·08 மீட்டர்/விநாடி ஆகும். துகளின் வீச்சைக் கண்டுபிடி.

சீரியல்பான இயக்கத்திலுள்ள துகளின் இடப்பெயர்ச்சி

$$y = a \sin(\omega t + \phi) \quad [a\text{–அதன் வீச்சு}] \ldots\ldots (1)$$

$$\text{வேகம் } v = \frac{dy}{dt} = a\,\omega \cos(\omega t + \phi)$$

$$= \omega \sqrt{a^2 - a^2 \sin^2(\omega t + \phi)}$$

$$= \omega \sqrt{a^2 - y^2}$$

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 = \omega^2 (a^2 - y^2) \quad \ldots\ldots (2)$$

$y = 0 \cdot 08$ மீட்டராயிருக்கும்போது, $\frac{dy}{dt} = 0 \cdot 16$

$y = 0 \cdot 12$ மீட்டராயிருக்கும்போது, $\frac{dy}{dt} = 0 \cdot 08$

எனவே,

$$(0 \cdot 16)^2 = \omega^2 (a^2 - 0 \cdot 08^2) \qquad \ldots\ldots(3)$$

$$(0 \cdot 08)^2 = \omega^2 (a^2 - 0 \cdot 12^2) \qquad \ldots\ldots(4)$$

(3)ஐ 4ஆல் வகுக்க

$$\frac{\cdot 16 \times \cdot 16}{\cdot 08 \times \cdot 08} = \frac{a - \cdot 0064}{a^2 - \cdot 0144} = 4$$

$$(a^2 - \cdot 0064) = 4\,(a^2 - \cdot 0144)$$

$$a^2 - 4a^2 = \cdot 0064 - \cdot 0576$$

$$a^2 = \frac{\cdot 0512}{3}$$

$$a = \sqrt{\frac{\cdot 0512}{3}} = 0 \cdot 1307 \text{ மீட்டர்கள்.}$$

3. ஒரு துகள் 2 விஞடிகள் அலைவு நேரத்துடன் சீரியல்பான இயக்கத்தில் இருக்கிறது. அதன் வீச்சு 0·1 மீட்டரானுல் அதன் திசைவேகத்தின் பெருமதிப்பு (Maximum Velocity) என்ன?

வீச்சு a-ம், இடப்பெயர்ச்சி y-ம் கொண்ட சீரியல்பான இயக்கத்தின் சமன்பாடு

$$y = a \sin(\omega t + \phi)$$

வேகம் $$\frac{dy}{dt} = a\,\omega \cos(\omega t + \phi)$$

வேகத்தின் பெருமதிப்பு

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_m = a\,\omega$$

T என்பது அலைவு நேரமானுல் $\omega = \frac{2\pi}{T}$

$T = 2$ விஞடி, $a = 0 \cdot 1$ மீட்டர்

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_m = a . \frac{2\pi}{T}$$

$$= 0 \cdot 1 \times \frac{2\pi}{2}$$

$$= 0 \cdot 314 \text{ மீட்டர் / விஞடி.}$$

வினாக்கள்

1. சீரியல்பான இயக்கம் என்றால் என்ன? இடப்பெயர்ச்சியும் முடுக்கமும் ஒன்றுக்கொன்று எவ்வாறு தொடர்புடையன? சீரியல்பான இயக்கத்திலுள்ள துகளின் இடப்பெயர்ச்சி, திசை வேகம், முடுக்கம் ஆகியவற்றிற்குக் கோவைகள் காண்க.

2. சீரியல்பான இயக்கத்திலுள்ள துகளின் ஆற்றல் அதன் வீச்சின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலும், அலைவு நேரத்தின் இரு மடிக்கு எதிர் விகிதத்திலும் இருக்கிறது எனக் காண்பி.

3. சீரியல்பான இயக்கத்திலுள்ள ஒரு துகள் அதன் நடுப் புள்ளியிலிருந்து $\sqrt{3}/2$ வீச்சு தொலைவில் இருக்கும்போது அதன் திசைவேகம், அதன் திசைவேகப் பெருமதிப்பில் பாதி எனக் காண்பி.

4. சீரியல்பான இயக்கத்திலுள்ள துகளின் ஆற்றல் அதன் வீச்சின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்குமெனக் காண்பி. 0·005 கி. கிராம் நிறையுள்ள பொருள் வினாடிக்கு 15 முறை அலைகிறது. அதன் வீச்சு 0·08 மீட்டர் ஆனால் (1) அதன் திசை வேகத்தின் பெருமதிப்பு, (2) அதன் ஆற்றல் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடு.

5. ஒரு சீரியல்பான இயக்கத்தின் வீச்சு 0·025 மீட்டர், அதன் அதிர்வு எண் 64/வினாடி, இயக்கத்திலுள்ள பொருளின் நிறை 0·0016 கி. கிராம் ஆனால், அதன் இயங்கு ஆற்றலைக் கணக்கிடு (அலையின் நடுவில்).

6. ஒரு சீரியல்பான இயக்கத்திலுள்ள பொருளின் வீச்சு 1·2 மீட்டர். அதன் அலைவு நேரம் π வினாடிகள். அதன் கட்டக் கோணம் (Phase Angle) π, ரேடியன் ஆக உள்ளபோது அதன் வேகத்தைக் கணக்கிடு.

2. சீரியல்பான இயக்கங்களின் தொகுப்பு

2·1. சீரியல்பான இயக்கங்களின் தொகுப்பு

சில நேரங்களில் ஒரு துகள் இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட சீரியல்பான இயக்கங்களுக்கு உட்படுத்தப்படலாம். அப்பொழுது அந்தத் துகள் அந்த இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட சீரியல்பு இயக்கங்களின் தொகுப்பு இயக்கத்தில் இயங்கும். இதனுல் அந்தத் துகள் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட திசைவேகத்துடன் அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட திசையில் இயங்குகிறது என்று பொருளில்லை. ஆனுல், வழக்கமாக ஒரு துகள் ஒரே நேரத்தில் இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட சீரியல்பு இயக்கங்களைப் பெற்றிருக்கிறது என்று கொள்கிறேம்.

சீரியல்பு இயக்கமும் மற்ற இயக்கங்களைப் போல் ஒப்புமை ஆனது (Relative). ஒரு புகை வண்டியின் எஞ்சினில் உள்ள ஒரு பிஸ்டனின் இயக்கத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். இது சீராக முன்னும் பின்னுமாகக் குறிப்பிட்ட அலைவு நேரத்தில் திரும்பத் திரும்ப இயங்கும். இதன் இயக்கம் சீரியல்பு இயக்கத்திற்கு ஒரு நல்ல எடுத்துக்காட்டு. பிஸ்டன் இயங்கும் நீள் உருளைக்கூட்டைப் (Cylinder) பொறுத்துப் பிஸ்டனின் இயக்கம் சீரியல்பான இயக்கமாகும்.

P என்ற ஒரு துகள் *Q* என்ற புள்ளியைப் பொறுத்தமட்டில் சீரியல்பு இயக்கத்தில் இருக்கலாம். ஆனுல், *Q* பூமியைப் பொறுத்தமட்டில் சீரியல்பு இயக்கத்தில் இருந்தால் *P*-ன் இயக்கம் இந்த இரு இயக்கங்களின் தொகுப்பாக அமையும். சுருக்கமாகச் சொன்னுல் *P* இந்த இரு இயக்கங்களையும் ஒரே நேரத்தில் கொண்டிருக்கும். இரு சீரியல்பு இயக்கங்களும் ஒரே நேர்க் கோட்டில் இருந்தால் *P*-ன் தொகுப்பு இயக்கம் நேர்க் கோட்டிலோ அல்லது சீரியல்பாகவோ இருக்கவேண்டுமென்பதில்லை. பல்வேறு சீரியல்பு இயக்கத் தொகுப்புகளைக் கீழே காண்போம்.

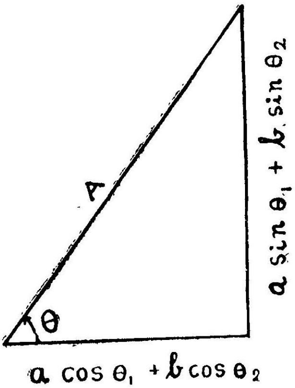
2·2. சம அலைவு நேரமும் (1 : 1) வேறுபட்ட வீச்சுமுடைய ஒரே நேர்க் கோட்டில் இயங்கும் இரு சீரியல்பான இயக்கங்களின் தொகுப்பு

பகுப்பாய்வு முறை (Analytical Treatment)

இரண்டு சீரியல்பு இயக்கங்களை எடுத்துக் கொள்வோம். அவைகளின் சமன்பாடுகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$y_1 = a \sin(\omega t - \theta_1)$$
$$y_2 = b \sin(\omega t - \theta_2)$$

y_1, y_2 என்பவை முறையே முதலாவது இரண்டாவது சீரியல்பு இயக்கங்களின் இடப்பெயர்ச்சிகளாகும். a, b என்பன இவற்றின் வீச்சுகள் ஆகும். θ_1, θ_2 என்பவை இவற்றின் கட்டத்தைக் குறிக்கின்றன.



படம் 6

இந்த இரு சீரியல்பு இயக்கங்களும் ஒரே நேர்க் கோட்டில் செயல்படுவதால் அவற்றின் தொகுப்பும் ஒரு சீரியல்பானதாகவே இருக்கும். இந்தத்தொகுப்பின் இடப்பெயர்ச்சி இரு இடப்பெயர்ச்சிகளின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமம் ஆகும்.

$$y = y_1 + y_2$$
$$= a \sin(\omega t - \theta_1) + b \sin(\omega t - \theta_2)$$

தொகுப்பு இயக்கத்தை $y = A \sin(\omega t - \theta)$ எனக்கொண்டால் A அதன் வீச்சு, θ அதன் கட்டம்.

$$A \sin(\omega t - \theta) = a \sin(\omega t - \theta_1) + b \sin(\omega t - \theta_2)$$
$$A \sin(\omega t - \theta) = a[\sin \omega t \cos \theta_1 - \cos \omega t \sin \theta_1] + b[\sin \omega t \cos \theta_2 - \cos \omega t \sin \theta_2]$$
$$A \begin{Bmatrix} \sin \omega t \cos \theta - \\ \cos \omega t \sin \theta \end{Bmatrix} = \begin{matrix} \sin \omega t\, [a \cos \theta_1 + b \cos \theta_2] \\ \cos \omega t\, [a \sin \theta_1 + b \sin \theta_2] \end{matrix}$$

இருபக்கங்களிலுள்ள $\sin \omega t$, $\cos \omega t$-ன் குணகங்களைச் சமமாக்கினால்

$$A \cos \theta = a \cos \theta_1 + b \cos \theta_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$
$$A \sin \theta = a \sin \theta_1 + b \sin \theta_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

இரு மடியாக்கிக் கூட்ட,

$$A^2 [\sin^2 \theta + \cos^2 \theta] = a^2 + b^2 + 2\,ab \cos \theta_1 \cos \theta_2 + 2\,ab \sin \theta_1 \sin \theta_2$$

$$A^2 = a^2 + b^2 + 2ab \cos (\theta_1 - \theta_2)$$

$$\therefore\ A = [a^2 + b^2 + 2\,ab \cos (\theta_1 - \theta_2)]^{\frac{1}{2}}$$

(2) ஐ (1) ஆல் வகுக்க,

$$\tan \theta = \frac{a \sin \theta_1 + b \sin \theta_2}{a \cos \theta_1 + b \cos \theta_2}$$

ஆகவே, தொகுப்பும் அதே சமஅலைவு நேரமுடைய சீரியல்பான இயக்கமாக இருக்கும். அதன் வீச்சு A-ஆகவும், கட்டம் θ-ஆகவும் இருக்கும்.

சிறப்பு வகைகள்

(i) $\theta_1 - \theta_2 = 0$ ஆனல் அல்லது 2πயின் முழு எண் பெருக்கல் ஆனல்,

அதிர்வுகள் ஒரே கட்டத்தில் இருக்கும். எனவே,

$$A^2 = (a+b)^2 \text{ அல்லது } A = a+b.$$

எதிர்க்குறி வர்க்கமூலம் விடப்பட்டது. ஏனெனில், வீச்சு எதிர்க்குறியைக் கொண்டதாக இருக்க முடியாது.

(ii) $\theta_1 - \theta_2 = \pi$ ஆனல் அதிர்வுகள் எதிர்க்கட்டங்களில் இருக்கும். எனவே,

$$A^2 = (a-b)^2 \text{ அல்லது } A = (a-b)$$

$a = b$ ஆக இருந்தால், தொகுப்பு வீச்சு $A = 0$ என ஆகும். துகள் நிலையில் (rest) இருக்கும்.

(iii) $a = b$ ஆகவும், கட்டம் θ_1, θ_2 ஆகவும் இருந்தால்

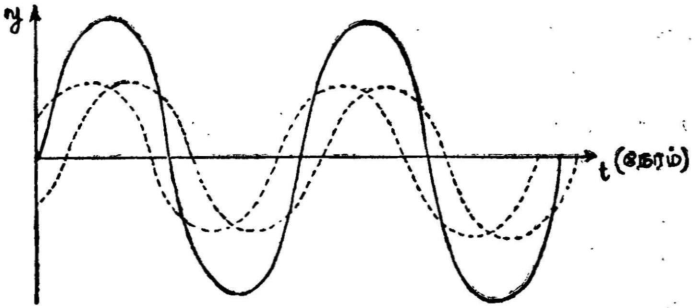
$$A^2 = 2a^2 [1 + \cos (\theta_1 - \theta_2)]$$

$$= 4a^2 \cos^2 \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{2}$$

$$A = 2a \cos \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{2}$$

$$\tan \theta = \frac{\sin \theta_1 + \sin \theta_2}{\cos \theta_1 + \cos \theta_2} = \tan \left[\frac{(\theta_1 + \theta_2)}{2} \right]$$

$$\theta = \frac{(\theta_1 + \theta_2)}{2}$$



படம் 7

$\cos \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{2} = 0$ ஆனுல் வீச்சு 0 ஆகும்.

$\theta_1 - \theta_2 = [2P + 1]\pi$ P-என்பது ஒரு முழு எண். இப்பொழுது இரு இயக்கங்களும் ஒன்றுக்கொன்று எதிர்த்திசையில் இருக்கும் (Opposite Phase).

$\cos \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{2} = 1$ ஆனுல் வீச்சு பெருமதிப்புடையதாய் இருக்கும்.

$(\theta_1 - \theta_2) = 2P\pi$. இரண்டு இயக்கங்கள் இப்போது ஒரே கட்டத்தில் (in Phase) இருக்கும்.

2·3. செங்குத்துத் திசையில் செயல்படும் இரு சீரியல்பு இயக்கங்களின் தொகுப்பு. (இலிஸாஜுஸ் படங்கள்)

செங்குத்துத் திசைகளில் செயல்படும் இரண்டு சீரியல்பான இயக்கங்களுக்கு ஒரு துகள் உட்படுத்தப்பட்டால் அத் துகள் இவைகளின் தொகுப்பு இயக்கத்தில் இயங்கும். அந்தத் தொகுப்பு இயக்கம் மிகவும் சிக்கலானது. இந்தத் தொகுப்பினுல் கிடைக்கும் இயக்கங்களின் படங்கள் இலிஸாஜுஸ் படங்கள் எனப்படும். ஆனுல், செயல்படும் சீரியல்பு இயக்கங்களின் அலைவு நேரங்கள் சமமாகவோ அல்லது எளிய முழுஎண் விகிதத்திலோ இருந்தால் தொகுப்பு இயக்கத்தைப் பகுப்பாய்வு (Analytical) முறையில் பெறலாம்.

2·4. சம அலைவு நேரமும் (அலைவு நேர விகிதம் 1 : 1) கட்ட வேறு பாடும் உடைய இரண்டு சீரியல்பு இயக்கங்களின் தொகுப்பு

x-அச்சு திசையில் செயல்படும் சீரியல்பு இயக்கத்தை $x = a \sin \omega t$ எனவும்,

y-அச்சு திசையில் செயல்படும் சீரியல்பு இயக்கத்தை $y = b \sin (\omega t + \theta)$ எனவும் கொள்வோம்.

a, b — என்பவை முறையே அவற்றின் வீச்சுகள்

θ — கட்ட வேறுபாடு.

$$\frac{x}{a} = \sin \omega t$$

$$\frac{y}{b} = \sin \omega t \cos \theta + \cos \omega t \sin \theta$$

$$= \frac{x}{a} \cos \theta + \sqrt{1 - x^2/a^2} \sin \theta$$

$$\frac{y}{b} - \frac{x}{a} \cos \theta = \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} \sin \theta$$

இருமடி ஆக்கினல்,

$$\left[\frac{y}{b} - \frac{x}{a} \cos \theta\right]^2 = \left[1 - \frac{x^2}{a^2}\right] \sin^2 \theta$$

$$= \sin^2 \theta - \frac{x^2}{a^2} \sin^2 \theta$$

$$\frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{a^2} (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) - \frac{2xy \cos \theta}{ab} = \sin^2 \theta$$

$$\boxed{\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{2xy}{ab} \cos \theta = \sin^2 \theta}$$

மேலே உள்ளது x, y-ல் ஒரு இருபடிச் சமன்பாடு. இது பொதுவாக ஒரு நீள் வட்டத்தை (Ellipse) யும், சில குறிப்பிட்ட நிலைகளில் சிறப்பாக, நேர்க் கோட்டையும் வட்டத்தையும் குறிக்கும்.

சிறப்பு வகைகள்

1. $\theta = 0$ ஆக இருந்தால்

$$x^2/a^2 + y^2/b^2 - \frac{2xy}{ab} = 0 \text{ ஏனெனில், } \sin\theta = 0$$

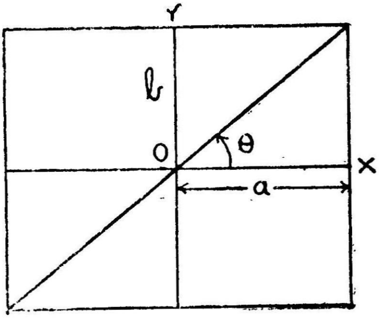
$$\cos\theta = 1$$

$$[x/a - y/b]^2 = 0$$

$$y/b = x/a$$

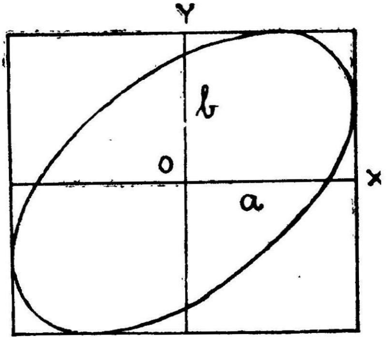
$$y = b/a\, x.$$

இது ஒன்றுபட்ட இரு நேர்க் கோடுகளைக் குறிக்கின்றது. அதன் ஏற்றம் b/a ஆகும். அதுவும் நேர்க்குறி சரிவு (Positive Slope) கொண்டது. அதாவது துகள் X-அச்சுக்கு $\tan^{-1}(b/a)$ கோணத்தில் உள்ள நேர்க்கோட்டில் சீரியல்பான இயக்கத்தில் அலையும். அதன் அலைவுநேரம் செயல்படும் இரு அலைவு நேரங்களுக்குச் சமமாகவே இருக்கும் (படம் 8).



படம் 8

2. $\theta = \frac{\pi}{4} = 45°$ ஆக இருந்தால்



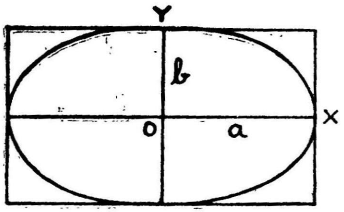
படம் 9

$$\sin\theta = \frac{1}{\sqrt{2}}, \cos\theta = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$x^2/a^2 + y^2/b^2 - \frac{2xy}{ab} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2}$$

இது ஒரு சாய்ந்த நீள் வட்டத்தைக் குறிக்கின்றது. நீள் வட்டத்தின் அச்சுகள் X, Y அச்சுகளுக்கு 45° சாய்ந்திருக்கும் (படம் 9).

3. $\theta = \frac{\pi}{2} = 90^\circ$ ஆக இருந்தால்



படம் 10

$\sin\theta = 1, \cos\theta = 0$

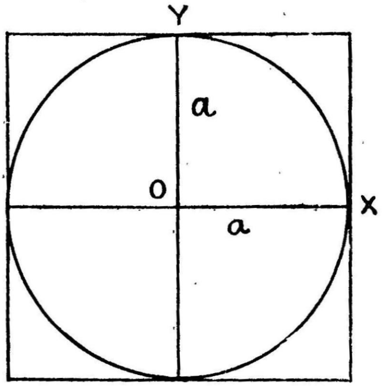
$x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1$

இது ஒரு நேரான நீள் வட்டத்தைக் குறிக்கின்றது. நீள் வட்டத்தின் அச்சுகள் X, Y அச்சுகளுடன் பொருந்தியிருக்கும் (படம் 10).

மேலும் $a = b$ ஆனுல்

$$x^2 + y^2 = a^2$$

இது a என்ற ஆரமுடைய ஒரு வட்டத்தைக் குறிக்கின்றது (படம் 11).

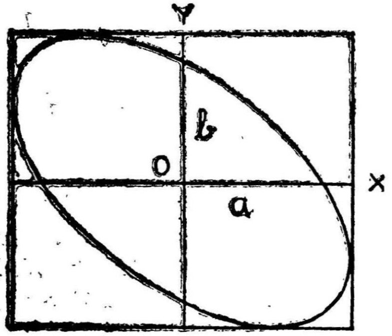


படம் 11

4. $\theta = \frac{3\pi}{4}$ ஆக இருந்தால்

$$\sin\theta = \frac{1}{\sqrt{2}}, \cos\theta = -\frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$x^2/a^2 + y^2/b^2 - \frac{2xy}{ab}\left(-\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = \tfrac{1}{2}$$



படம் 12

$$x^2/a^2 + y^2/b^2 + \frac{2xy}{ab}\frac{1}{\sqrt{2}} = \tfrac{1}{2}$$

இது மீண்டும் ஒரு சாய்ந்த நீள் வட்டத்தைக் குறிக்கிறது. ஆனுல் இந்த நீள் வட்டம் எதிர்ப்புறத்தில் சாய்ந்திருக்கும் (படம் 12).

5. $\theta = \pi = 180°$ ஆக இருந்தால்

$$\sin\theta = 0, \cos\theta = -1.$$

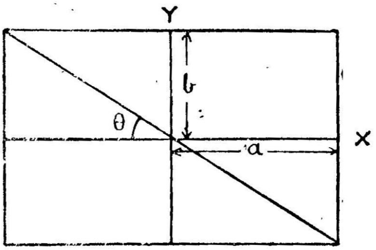
$$x^2/a^2 + y^2/b^2 + 2xy/ab = 0$$

$$[x/a + y/b]^2 = 0$$

$$\pm\left[\frac{x}{a} + \frac{y}{b}\right] = 0$$

$$y = \pm\frac{b}{a}x.$$

இது மீண்டும் ஒன்றுபட்டஇரு நேர்க் கோடுகளைக் குறிக்கும் மையம் வழியே X-அச்சுக்கு எதிர்ப்புறத்தில் சாய்ந்த நேர்க் கோட்டைக் குறிக்கிறது (படம் 13).



படம் 13

சாய்வுகோணம்

$$\theta = \tan^{-1}\left(-\frac{b}{a}\right)$$

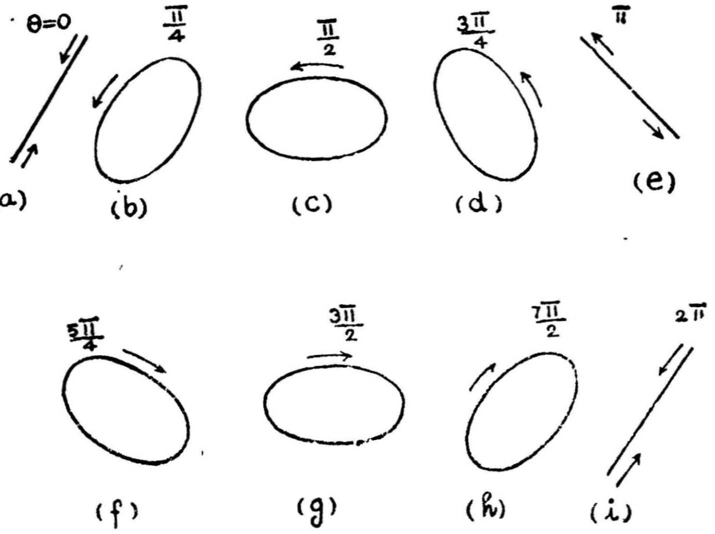
$$\theta = \frac{5\pi}{4}, \frac{3\pi}{2}, \frac{7\pi}{4}$$

ஆக இருக்கும்போது இந்தப் படங்கள் எதிர் வரிசையில் தோன்றும். $\theta = 2\pi$ ஆகும்போது முதலில் கிடைத்த ஒன்றுபட்ட நேர்க் கோடுகள் கிடைக்கும்.

2·5. அதிர்வு எண்கள் ஏறத்தாழ சமமாக இருக்கும்போது

இரண்டு சீரியல்பான இயக்கங்களின் அதிர்வு எண்கள் சமமாக இருக்கும்போது தொகுப்பு இயக்கத்தின் பாதை மாறுமல் மேலே சொல்லப்பட்ட ஏதாவது ஒரு பாதையாக இருக்கும். பாதையின் வடிவ அமைப்பு கட்டத்தைப்பொறுத்து அமையும். இரு அதிர்வு எண்களில் மிகச் சிறிய வேறுபாடு இருந்தால் ஓர் இயக்கம் மற்றதைவிட மிக மெதுவாக முன்னேறும். ஆகவே, கட்ட வேறுபாடு (Phase Difference) மெதுவாக 0 விலிருந்து 2π வரை மாறிக் கொண்டே செல்லும். அதன் விளைவாகத் தொகுப்பு இயக்கத்தின் பாதை தொடர்ந்து மாறிக்கொண்டே போகும். அது கீழே காட்டிய படத்தில் உள்ளதுபோல் எல்லா வகை அமைப்புகளையும்

கட்டநிலை வேறுபாட்டைப் பொறுத்து அமைத்துக்கொள்ளும் (படம் 14).



படம் 14

$$x = a \sin \omega t \;\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$y = b \sin (\omega t + \theta) \;\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

ω என்பது $\omega + \delta$ என்று கொள்ளலாம்.

δ - மிகச் சிறிய மதிப்புடைது. ஆகவே, இரண்டாவது சமன்பாட்டை $y = b \sin (\omega t + \delta t + \theta)$ என எழுதலாம்.

$(\delta t + \theta)$ என்பது கட்டநிலையைக் குறிப்பதாகும்.

$(\delta t_1 + \theta) = 2n\pi$ ஆக இருந்தால் இரு இயக்கங்களும் ஒரே கட்டத்தில் (Same Phase) இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். அப்போது தொகுப்பு இயக்கம் ஒரு நேர்க் கோட்டில் இருக்கும். நேரம் அதிகரிக்க, கட்டம் மாறுகிறது. தொகுப்பு இயக்கமும் தொடர்ந்து மாறும். நேர்க் கோட்டிலிருந்து சாய்ந்த நீள் வட்டமாகவும், நேரான நீள் வட்டமாகவும், எதிர்ப்புறம் சாய்ந்த நீள் வட்டமாகவும், இறுதியாக நேர்க் கோடாகவும் மாறும். இப்போது நேர்க் கோடு வரும்போது நேரம் t_2 ஆக இருந்தால்,

$$\delta t_2 + \theta = 2\pi\,(n+1)$$

மீண்டும் நேர்சாய்வுடைய (Positive Slope) நேர்க் கோடு கிடைக்கிறது.

$t_2 - t_1 = T$ என்பது ஒரே வடிவ அமைப்புடைய தொகுப்பு இயக்கம் அடுத்தடுத்து தோன்றுவதற்கு எடுத்துக்கொள்ளும் நேரமாகும்.

$$T = \frac{2\pi}{\delta} \text{ அல்லது}$$

$$= \frac{\delta}{2\pi} = \frac{1}{T} = \delta n.$$

δn இயங்கும் இரு சீரியல்பான இயக்கங்களின் அதிர்வு எண் வேறுபாட்டைத்தரும்.

அதிர்வு எண் வேறுபாடு $\delta n = \frac{1}{T}$

2·6. வரைபட முறையில் இலிஸாஜூஸ் படங்களைப் பெறுதல்

செங்குத்துத் திசைகளில் செயல்படும் இரண்டு சீரியல்பான இயக்கங்களின் தொகுப்பு இயக்கத்தை வரைபட முறையிலும் பெறலாம்.

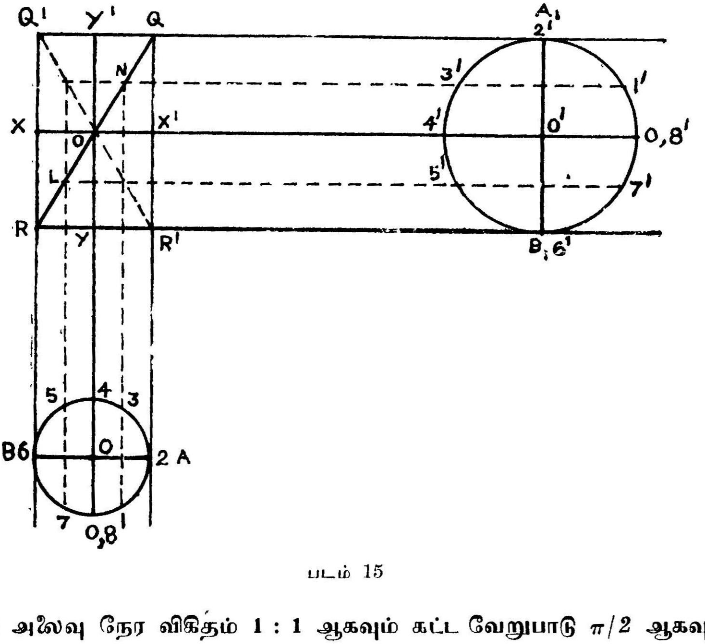
(i) **அலைவு நேர விகிதம் 1 : 1 ஆகவும், ஒரே கட்டத்திலும் உள்ள இரு செங்குத்துத் திசைகளில் செயல்படும் சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுப்பு**

15-வது படத்தில் AB-க்கு இணையாக ஓர் இயக்கம் இருக்கட்டும். AB என்பது கீழ்ப்பகுதியில் உள்ள ஒரு வட்டத்தின் கிடைத்தள விட்டமாகும். மற்றொரு இயக்கம் A_1B_1-க்கு இணையாக இருக்கட்டும். இது மேல் பகுதியில் உள்ள வட்டத்தின் செங்குத்து விட்டமாகும். ABயும், A_1B_1-ம் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக உள்ளன. இரண்டு இயக்கங்களும் ஒரே கட்டத்தில் இருப்பதால் அவை அவற்றின் நடுநிலைப் புள்ளிகளை (Mean Position) ஒரே நேரத்தில் கடக்கும். வட்டங்களின் ஆரங்கள் a, b, முறையே இரு அதிர்வுகளின் வீச்சுகள் ஆகும். வட்டங்களின் சுற்றளவு 8 சம பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டு 0, 1, 2............8 என எண்ணிடப்பட்டிருக்கின்றன. ஒவ்வொரு பகுதியும் சம நேரங்களில் கடக்கப்படும். இப்போது AB அல்லது XX_1-ல் இயங்கும் Pன் இயக்கத்தையும், A_1B_1 அல்லது YY_1-ல் இயங்கும் P_1-ன் இயக்கத்தையும் தொகுக்கிறோம். இரு இயக்கங்களின் நடு நிலைப் புள்ளிகள் O என்ற புள்ளியோடு ஒன்றும். இதனால் துவக்கத்தில் இரு இயக்கங்களுக்கும் இடையே கட்ட வேறுபாடு இல்லை எனத் தெரியும். AB என்ற வட்டத்தில் 0, 1, 2...... முதலிய புள்ளிகளிலிருந்து XOX_1-க்குச் செங்குத்துக் கோடுகள் வரையப்படுகின்றன. இதேபோல் A_1B_1 ஆகிய வட்டத்தில் இருந்து YOY_1-க்குச் செங்குத்துக் கோடுகள் வரையப்படுகின்றன. துவக்கத்தில், இயக்கத்தின் இயக்கம் துவங்கும்போது இரு செங்குத்துக் கோடு

களும் O என்ற புள்ளியில் வெட்டுகின்றன. 1,1 என்ற புள்ளிகளிலிருந்து வரும் செங்குத்துக் கோடுகள் N-லும், 2,2 என்ற புள்ளிகளிலிருந்து வரும் செங்குத்துக் கோடுகள் Q என்ற புள்ளியிலும் வெட்டுகின்றன. இதே போல் மற்றவை O,L,R ஆகிய புள்ளிகளில் வெட்டுகின்றன. Q,N,O,L,R ஆகிய புள்ளிகளை ஒரு கோட்டால் இணைத்தால் இலிஸாஜூஸ் படம் கிடைக்கும். இங்குத் தொகுப்பு இயக்கப்பாதை :—இலிஸாஜூஸ் படம் :—QR என்பது நேர்க் கோடு ஆகும். இது $2a$, $2b$ என்ற பக்கங்களைக் கொண்ட நீள் சதுரத்தின் (Rectangle) மூலைவிட்டம் (Diagonal) ஆகும். இந்தத் தொகுப்பு இயக்கம் அதே அலைவு நேரத்தையும், கட்டத்தையும் கொண்டதானால் தொகுப்பு இயக்கத்தின் வீச்சு

$$A = \sqrt{a^2+b^2}$$

முதல் சீரியல்பு இயக்கமும் 4 என்ற புள்ளியிலிருந்து துவக்கினால் (கட்டம் π) தொகுப்பு இயக்கப் பாதை $Q^1 R^1$ என்ற மற்றொரு மூலைவிட்டமாக இருக்கும். இது படத்தில் புள்ளிக் கோடாகக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

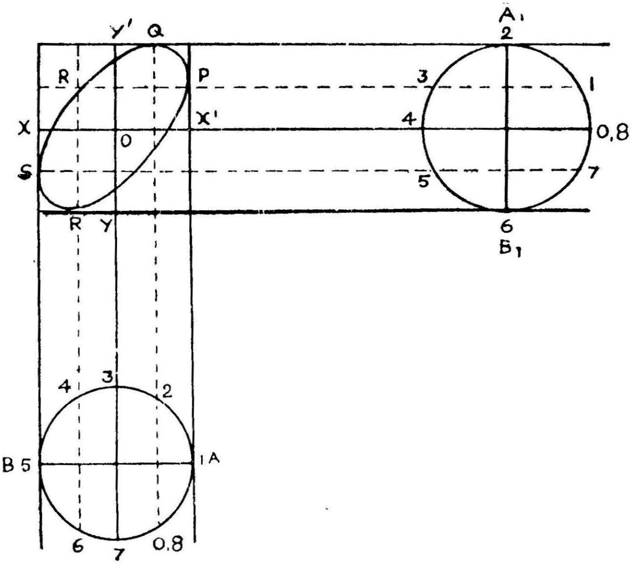


படம் 15

(ii) அலைவு நேர விகிதம் 1 : 1 ஆகவும் கட்ட வேறுபாடு $\pi/2$ ஆகவும் இருந்தால்

படத்தில் (படம் 16) AB, A_1B_1 ஆகியவற்றை விட்டமாகக் கொண்ட இரண்டு வட்டங்கள் உள்ளன. முதலில்

கூறியபடி வட்டங்கள் எட்டு சம பாகங்களாகப் பிரிக்கப்படுகின்றன. கட்ட வேறுபாடு (Phase Difference) $\pi/2$ ஆக இருப்பதால் AB, A_1B_1 ஆகிய கோடுகளில் சீரியல்பு இயக்கத்தில் இருக்கும் துகள்கள் ஒரே நேரத்தில் நடு நிலையைக் (Mean Position) கடக்காது. ஒன்று நடுநிலையைக் கடக்கும்பொழுது, மற்றொன்று அலையின் முடிவில் (Extreme Position) இருக்கும். ஆகவே, படத்தில் வட்டத்தின் பகுதிகளை எண்ணிக்கையிடும்போது முதல் வட்டத்தில் A என்ற புள்ளியில் துவங்கி 0, 1, 2, 3.................... 8 எனவும், 2-வது வட்டத்தில் $90°$ விலகி C என்ற புள்ளியிலிருந்து துவங்கி 0, 1, 2, 3 எனவும் எண்ணிக்கையிடுகிறோம். முதல் வட்டத்தில் துகள் 0 எண்ணில் இருக்கும்போது 2-வது வட்டத் துகள் C என்ற புள்ளியில் 0 எண்ணில் இருக்கும். AB, A_1B_1-ல் சீரியல்பு இயக்கத்திலுள்ள துகள்கள் $\pi/2$ கட்ட வேறுபாட்டில் இயங்குகின்றன.



படம் 16

முன் கூறியதுபோல் 0, 1, 2, 3..............8 எண்களிலிருந்து AB, A_1B_1 ஆகிய கோடுகளுக்குச் செங்குத்தாக நேர்க்கோடுகள் வரையவும், 1-ம் எண்ணிக்கைகளிலிருந்து வரையப்பட்ட கோடுகள் P என்ற புள்ளியிலும், 2-ம் எண்ணிக்கையிலிருந்து வரையப்பட்ட கோடுகள் Q என்ற புள்ளியிலும் சந்திக்கின்றன. இதுபோல் ஒத்த எண்ணிக்கையிலிருந்து வரையப்பட்ட கோடுகள் R, S என்ற புள்ளிகளில் சந்திக்கின்றன. P, Q, R, S என்ற புள்ளிகளைச் சேர்க்கும்

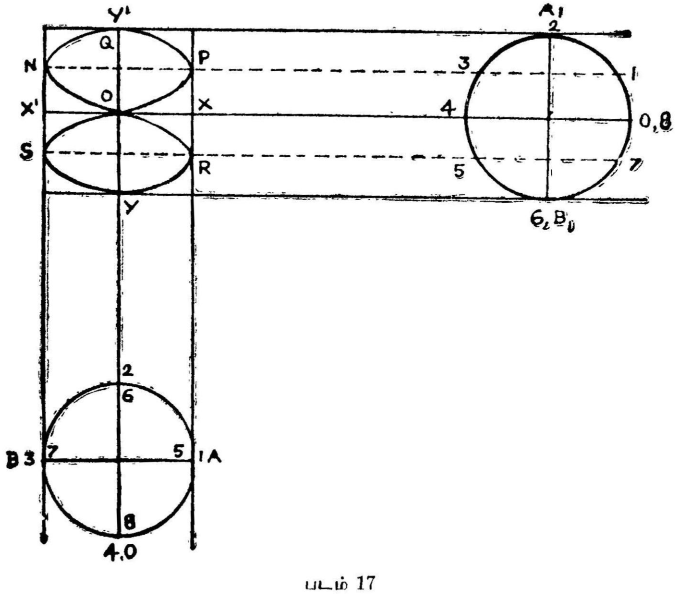
வளைகோடு ஒரு நீள் வட்டமாக (Ellipse) இருக்கும். இந்த நீள் வட்டப் பாதைதான் இரண்டு சீரியல்பு இயக்கங்களின் தொகுப்பு இயக்கத்தைக் குறிக்கின்றது.

இரண்டு சீரியல்பான இயக்கங்களின் வீச்சு சமமாக இருந்தால் தொகுப்பு இயக்கப் பாதை வட்டமாக இருக்கும்.

(iii) அலைவு நேரங்கள் 1:2 விகிதத்தில் உள்ள இரு செங்குத்துத் திசைகளில் செயல்படும் சீரியல்பு இயக்கங்களின் தொகுப்பு

1. வெவ்வேறு வீச்சும், ஒரே கட்டமும் உடையவை ;

சம அலைவு நேரங்கள் உடைய இயக்கங்களுக்குத் தொகுப்பு கண்டதுபோல் அதற்கும் காணலாம். YOY_1 என்ற கோட்டில் இயங்கும் சீரியல்பான இயக்கத்தின் அலைவு நேரம் XOX_1 என்ற கோட்டில் இயங்கும் இயக்கத்தின் அலைவு நேரத்தைப்போல் இரு மடங்கு எனக் கொள்வோம். இதனால் A_1B_1 என்ற வட்டத்தில் இயங்கும் துகள் P_1 ஒருமுறை சுற்றி வரும்போது, AB என்ற வட்டத்தில் துகள் P இரு முறை சுற்றி வந்துவிடும்.



படம் 17

AB என்ற வட்டத்தை 4 சம பகுதிகளாகவும் A_1B_1 என்ற வட்டத்தை 8 சம பகுதிகளாகவும் பிரித்துக்கொள்வோம். சம பகுதிகளுக்குப் படத்திலுள்ளதுபோல் எண்ணிக்கையிடுவோம்,

ஒரே நேரத்தில் இரு துகள்களும் நடுநிலைப் புள்ளியிலிருந்து (Mean Position) இயக்கத்தைத் துவங்குவதாகக் கொள்வோம். ஏனெனில், அவை ஒரே கட்டமுடையவை (Same Phase). தொகுப்பு இயக்கம் பெற முன்புபோல் XOX_1, YOY_1 என்ற கோடுகளுக்கு ஒத்த எண்ணிக்கைகளிலிருந்து செங்குத்துக் கோடுகள் வரைவோம். அவை N, Q, R என்ற புள்ளியில் வெட்டு கின்றன. இவற்றை ஒருகோட்டால் சேர்த்தால், தொகுப்பு இயக் கத்தின் பாதை (இலிஸாஜுஸ்) 8-ன் வடிவில் கிடைக்கும் (படம் 17).

பகுப்பாய்வு முறை : அலைவு நேர விகிதம் 1 : 2

தொகுக்கப்படும் இரு சீரியல்பான இயக்கங்கள் கீழ்க்காணும் சமன்பாடுகளால் குறிக்கப்படுகின்றன.

$$x = a \sin (2\omega t + \theta)$$

$$y = b \sin \omega t.$$

θ என்பது கட்டக் கோணம் (Phase Angle). முதல் இயக்கம் இரண்டாவதைவிட θ கோணம் முன்னே இருக்கிறது.

1. முதலில் கட்ட வேறுபாடு $\theta = 0$ என்று எடுத்துக்கொள் வோம்.

$$x = a \sin 2\omega t$$

$$= 2a \sin \omega t \cos \omega t$$

$$x/a = 2 \sin \omega t \cos \omega t$$

ஆனல் $\sin \omega t = y/b$; $\therefore \cos \omega t = \sqrt{1-y^2/b^2}$

எனவே,

$$\frac{x}{a} = 2\frac{y}{b}\sqrt{1-y^2/b^2}$$

இருமடியாக்க,

$$\frac{x^2}{a^2} = \frac{4y^2}{b^2}\left(1-y^2/b^2\right)$$

$$\therefore \frac{x^2}{a^2} + \frac{4y^2}{b^2}\left(\frac{y^2}{b^2} - 1\right) = 0$$

இந்தச் சமன்பாடு '8' போன்ற வடிவத்தையுடைய இயக்கப் பாதையைக் குறிக்கும்.

2. கட்ட வேறுபாடு θ எனக்கொண்டால்,

$$x = a \sin(2\omega t + \theta)$$

$$y = b \sin \omega t.$$

தொகுப்பு இயக்கத்தைப் பெற

$$\frac{x}{a} = \sin(2\omega t + \theta)$$

$$= \sin 2\omega t \cos\theta + \cos 2\omega t \sin\theta$$

$$= 2\sin\omega t \cos\omega t \cos\theta + (1 - 2\sin^2\omega t)\sin\theta$$

ஆனால் $\sin\omega t = y/b$, $\cos\omega t = \sqrt{1 - y^2/b^2}$

எனவே,

$$\frac{x}{a} = 2\frac{y}{b}\sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}}.\cos\theta + \left(1 - 2\frac{y^2}{b^2}\right)\sin\theta$$

$$\left[\frac{x}{a} - \left(1 - \frac{2y^2}{b^2}\right)\sin\theta\right] = \frac{2y}{b}\sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}}\cos\theta$$

இருமடியாக்க

$$\left[\frac{x}{a} - \left(1 - \frac{2y^2}{b^2}\right)\sin\theta\right]^2 = \frac{4y^2}{b^2}\left(1 - \frac{y^2}{b^2}\right)\cos^2\theta$$

$$\left[\left(\frac{x}{a} - \sin\theta\right) + \frac{2y^2}{b^2}\sin\theta\right]^2 = \frac{4y^2}{b^2}\cos^2\theta - \frac{4y^4}{b^4}\cos^2\theta$$

$$\left(\frac{x}{a} - \sin\theta\right)^2 + \frac{4y^4}{b^4}\sin^2\theta + 2\left(\frac{x}{a} - \sin\theta\right)\frac{2y^2}{b^2}\sin\theta = \frac{4y^2}{b^2}\cos^2\theta - \frac{4y^4}{b^4}\cos^2\theta$$

$$\left[\frac{x}{a} - \sin\theta\right]^2 + \frac{4y^4}{b^4} + 2\left(\frac{x}{a} - \sin\theta\right)\frac{2y^2}{b^2}\sin\theta = \frac{4y^2}{b^2}\cos^2\theta$$

$$\left[\frac{x}{a} - \sin\theta\right]^2 + \frac{4y^4}{b^4} - \frac{4y^2}{b^2}\cos^2\theta + \frac{4y^2}{b^2}.\frac{x}{a}\sin\theta - \frac{4y^2}{b^2}\sin^2\theta = 0$$

$$\left[\frac{x}{a} - \sin\theta\right]^2 + \frac{4y^2}{b^2}\left[\frac{y^2}{b^2} + \frac{x}{a}\sin\theta - 1\right] = 0.$$

இது இரு வளையங்களையுடைய (Two Loops) ஒரு வளை கோட்டைக் குறிக்கும் ஒரு பொதுச்சமன்பாடு (General Equation).

சிறப்பு வகைகள் (Special Cases)

1. கட்ட வேறுபாடு $\theta = 0$ அல்லது π ஆக இருக்கும்போது

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{4y^2}{b^2}\left(\frac{y^2}{b^2} - 1\right) = 0.$$

இது '8' போன்ற வடிவமுடைய வளை கோட்டைக் குறிக்கும்.

2. கட்ட வேறுபாடு $\theta = \frac{\pi}{2}$ ஆக இருக்கும்போது

$$\left(\frac{x}{a} - 1\right)^2 + \frac{4y^2}{b^2}\left(\frac{y^2}{b^2} + \frac{x}{a} - 1\right) = 0$$

$$\left(\frac{x}{a} - 1\right)^2 + \left(\frac{2y^2}{b^2}\right)^2 + \frac{4y^2}{b^2}\left(\frac{x}{a} - 1\right) = 0$$

$$\left[\left(\frac{x}{a} - 1\right) + \frac{2y^2}{b^2}\right]^2 = 0.$$

இது ஒரு ஒன்றிடும் பரவளையங்களைக் (Coincident Parabolas) குறிக்கின்றது.

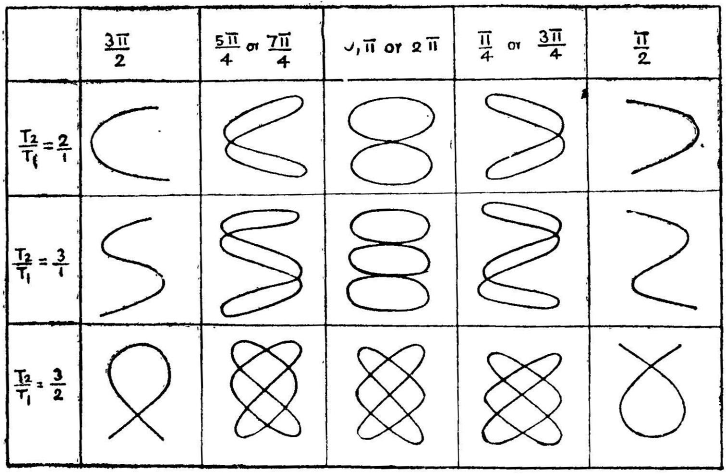
பரவளையத்தின் சமன்பாடு

$$\left(\frac{x}{a} - 1\right) = -\frac{2y^2}{b^2}$$

$$y^2 = -\frac{b^2}{2}\left(\frac{x-a}{a}\right)$$

$$\boxed{y^2 = -\frac{b^2}{2a}(x - a)}$$

இது ஒரு பரவளையத்தின் சமன்பாடு. அலைவு நேரங்களின் விகிதம் 1 : 2-லிருந்து சற்று மாறுபட்டால் வளைகோடு (இலிஸாஜூஸ் படங்கள்) மெதுவாகக் கட்டம் θ மாறமாற, மாறிக் கொண்டே போகும். இது படமாகக் காட்டப்பட்டுள்ளது. கீழே வெவ்வேறு அலைவு நேரவிகிதத்திலுள்ள சீரியல்பு இயக்கங்களின் தொகுப்பியக்கப்பாதை-இலிஸாஜூஸ் படங்கள் காட்டப் பட்டுள்ளன.



படம் 18

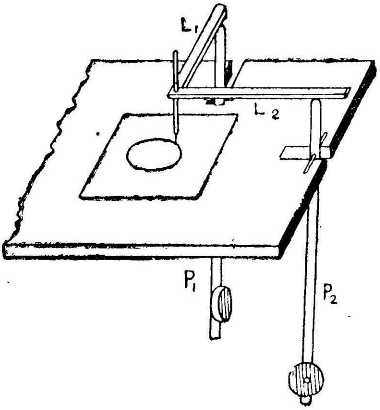
2·7. செய்முறையில் இலிஸாஜூஸ் படங்களைப் பெறுதல்

ஒரே ஒரு துகளை ஒரே நேரத்தில் இரு செங்குத்துத் திசைகளில் இரண்டு சீரியல்பு இயக்கங்களுக்கு உட்படுத்தலாம். சீரியல்பு இயக்கங்களின் அதிர்வு நேரங்கள் சமமாகவோ அல்லது எளிய முழு எண் விகிதங்களிலோ இருக்கலாம். அப்போது அந்தத் துகள் ஒரு வளைகோட்டில் இயங்கும். அந்த வளைகோடு இரு சீரியல்பு இயங்கங்களின் அதிர்வு எண்ணையும் கட்ட வேறுபாட்டையும் (Phase Difference) பொறுத்து அமையும். இந்த வளைகோடுகளுக்கு இலிஸாஜூஸ் படங்கள் என்று பெயர். இந்தப் படங்களை வரைபடம் மூலம் பெறலாம், அல்லது கீழே சொல்லப்பட்ட செய்முறை மூலமும் பெறலாம்.

1. டிஸ்லிஸ் சீரியல் வரைபடம் (Tisley's Harmono Graph)

இந்தக் கருவியில் L_1, L_2 என்ற இரு நெம்பு கோல்கள் உள்ளன. இவை ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்துத் திசையில் சீரியல்பு இயக்கத்தில் இயங்கக்கூடியவை. அவையிரண்டும் ஒரு வளையக் கூடிய முனையில் சேர்க்கப்பட்டிருக்கின்றன. (படம் 19) அந்த முனையில் ஒரு கண்ணாடிப் பேனா உண்டு. இந்த நெம்பு கோல்கள் P_1, P_2 என்ற இரு கூட்டு ஊசல்களுக்குப் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. இந்த ஊசல்கள் இரண்டு செங்குத்துத் தளங்களில் அலைந்து அந்த அலைவுகளை நெம்பு கோல்களுக்குக் கொடுக்கும். ஆகவே, நெம்பு கோல்கள் இரு செங்குத்துத் திசைகளில் சீரியல்பு இயக்கத்தில் இயங்க முடியும். பேனாமுனையில் எழுதும் மை

வைக்கப்படுகிறது. ஊசல்கள் அலையும்போது பேனுமுனை இலிஸாஜூஸ் படங்களை அதன் கீழுள்ள காகிதத்தில் வரையும். படத்தின் தன்மை அலைவு நேரங்களின் விகிதத்தையும், கட்டத்தையும் பொறுத்திருக்கும். இவைகளை வேண்டிய அளவு மாற்றிக் கொள்ளலாம்.

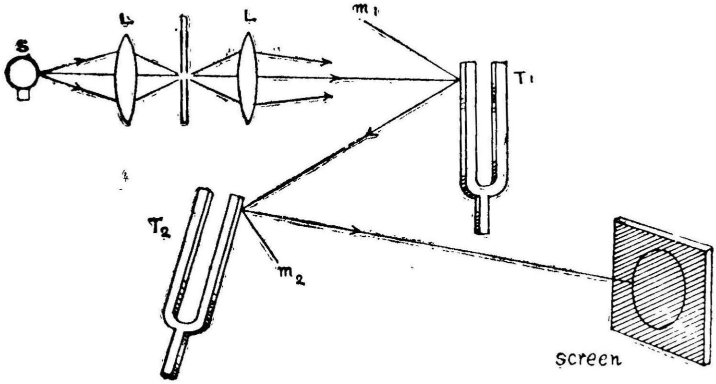


படம் 19

2. ஒளிமுறை

இதில் மின்விசையால் காக்கப்பட்ட இரண்டு இசைக்கவைகள் T_1, T_2 என்பவை படத்திலுள்ளது போல் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. அவைகளின் அதிரும் நுனிகளில் இரு சிறிய சமதள ஆடித்துண்டு கள் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. ஒரு விளக்கிலிருந்து சிறிய ஒளிக் கதிர் குவி லென்சைப் பயன்படுத்தி M_1 M_2 ஆகிய சமதள ஆடித்துண்டுகளில் அடுத்தடுத்து பிரதிபலிக்கப்பட்டு ஒரு வெண் திரையில் விழுகிறது. இரு இசைக்கவைகளும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்துத் திசைகளில் அதிரும் வண்ணம் அமைக்கப்பட் டிருக்கின்றன. இப்போது இரு இசைக்கவைகளும் அதிரும் படிச் செய்யப்படுகின்றன. இரு இசைக்கவைகளும் செங்குத்துத் திசையில் அதிரும்போது எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளிக்கதிர் வெண்திரையில் இலிஸாஜூஸ் படங்களைத் தோற்றுவிக்கும். இசைக்கவைகளுக்குப் பதிலாக நீண்ட இரும்புத் தகடுகளைக்கூடப் பயன்படுத்தலாம். இரும்புத் தகடுகள் ஒரு முனையில் அசை யாமல் பொருத்தப்பட்டு மறுமுனை அதிரும்படி செய்யலாம். எதிர் முனையில் சமதள ஆடித்துண்டு பொருத்தப்பட்டிருக்கும்.

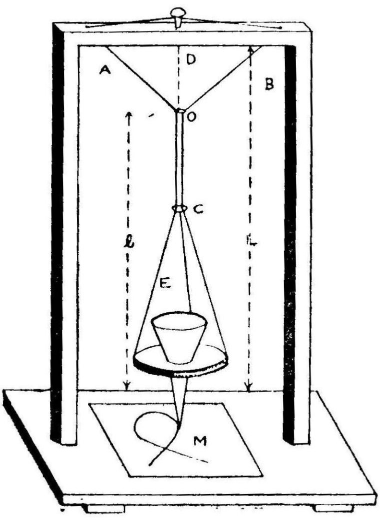
இரும்புத் தகடுகளின் நீளங்களை மாற்றி அதிர்வு எண் விகிதத்தை வேண்டிய அளவு மாற்றிக் கொள்ளலாம்.



படம் 20

3. பிளாக்பர்ன் ஊசல்

பிளாக்பர்ன் ஊசலைக் கொண்டும் இலிஸாஜுஸ் படங்களைப் பெறலாம். *OA, OB, OC* என்ற மூன்று கம்பிகள் *O* என்ற புள்ளியில் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. (படம் 21) *A, B* ஆகிய இரு முனைகளும் ஒரு கிடைத்தளச் சட்டத்தில் படத்திலுள்ளது போல் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. *C* என்ற மூன்றாவது கம்பி முனையில் ஓர் ஈயவளையம் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. அந்த ஈயவளையத்தில் மணல் நிரப்பிய கண்ணுடிப் புனல் தொங்கவிடப் பட்டிருக்கிறது. இந்த ஏற்பாடு இரு தனி ஊசல்களுக்குச் சமம். அவை *l* நீளமுடைய *OE* என்ற தனி ஊசலும், *L* நீளமுடைய *DE* என்ற தனி ஊசலுமாகும். தனி ஊசல் *OE* படத்தின் தளத்திலும் (Plane of the Figure) *DE* ஊசல் படமுள்ள காகிதத்திற்குச் செங்குத்துத் தளத்திலும் அலைவுகளை ஏற்படுத்தும். கண்ணுடிப்புனல் இரு ஊசல்களுக்கும் தொங்குதானமாகச் செயல்படுகிறது. இவை அலையும்



படம் 21

போது கண்ணுடிப் புனலிலிருந்து கீழே சீராக விழும் மணல் இலிஸாஜூஸ் படங்களை வரையும். தனி ஊசல்களின் நீளங்கள் l, L ஆகியவற்றை ஈயவளையத்தை மேல்கீழ் நகர்த்தி மாற்றலாம். அலைவு நேரமும் மாறும். அலைவுநேர விகிதத்தைப் பொறுத்து இலிஸாஜூஸ் படத்தின் வடிவம் மாறும்.)

4. எதிர்மின்கதிர் அலைவரைவி (Cathode ray Oscillograph)

எதிர்மின் அலைவரைவியைக் கொண்டும் இலிஸாஜூஸ் படங்களின் வடிவங்களைக் காணலாம். இதில் இரண்டு ஜோடி விலக்கத் தகடுகள் (Deflector Plates) உள்ளன. இருவிலக்கத்தகடுகள் செங்குத்துத் தளத்திலும், மற்ற இரு விலக்கத்தகடுகள் கிடைத்தளத்திலும் இருக்கும். செங்குத்துத்தள விலக்கத்தகடுகளைப் பயன்படுத்தி எதிர்மின்கதிரைக் கிடைத்தளத்திலும், கிடைத்தள விலக்கத்தகடுகளைப் பயன்படுத்தி எதிர்மின் கதிரைச் செங்குத்துத் திசையிலும் விலகுமாறு செய்யலாம்.

கிடைத்தள விலக்கத்தகடுகளுக்கு ஒரு சீரியல்பு இயக்கத்தின் அலைவும், செங்குத்து விலக்கத்தகடுகளுக்கு மற்றொரு சீரியல்பு இயக்கத்தின் அலைவும் இணைக்கப்படுகின்றன. எதிர்மின் கதிர் இந்த இரு மின் அலைகளைப் பொறுத்து அலைவு வரைவியின் (Oscillo graph) திரையில் இலிஸாஜூஸ் படங்களைத் தோற்றுவிக்கும். படத்தின் வடிவம் மின் அலைகளின் வீச்சையும், அதிர்வு எண்களின் விகிதத்தையும் பொறுத்து அமையும்.

2·8. இலிஸாஜூஸ் படங்களின் பயன்கள்

(i) இலிஸாஜூஸ் படத்தின் வடிவ அமைப்பைக் கொண்டு, செயல்படும் இரு சீரியல்பு இயக்கங்களின் அதிர்வு எண் விகிதத்தைக் கண்டு கொள்ளலாம். ஏதாவது ஓர் அதிர்வு எண் தெரிந்தால் மற்றொன்றைக் கணக்கிடலாம்.

(ii) செயல்படும் இரு சீரியல்பு இயக்கங்களின் கட்ட மாறுபாடு தொடர்ந்து மாறிக்கொண்டே போனால் படத்தில் வடிவ அமைப்பு ஒன்றாக இருக்காது. அதுவும் மாறிக் கொண்டேயிருக்கும். ஒரு முழுச் சுற்று (One Complete Cycle of Changes) மாறுவதற்கு அது எடுத்துக்கொள்ளும் நேரத்தைக் கணக்கிடலாம். இதன் தலைகீழ் மதிப்பு அந்த இரு சீரியல்பு இயக்கங்களின் அதிர்வு எண் வேறுபாட்டைக் கொடுக்கும்.

$$\frac{1}{T} = n_1 - n_2$$

n_1, n_2 என்பவை ஏறத்தாழ சமமான அதிர்வு எண்களானால் இவை இலிஸாஜூஸ் படங்களைத் தொடர்ந்து தோற்றுவிக்கும்.

T என்பது, ஒரே படம் இருமுறை தோன்றுவதற்கு இடைப்பட்ட நேரம் அல்லது ஒரு முழுச்சுற்றுக்கு எடுத்துக்கொண்ட நேரமாகும். அதைக் கொண்டு அதிர்வு எண் வேறுபாட்டைக் காணலாம்.

(iii) திசைமாறும் மின்சாரத்தின் (Alternating Current) அதிர்வு எண்ணை எதிர்மின்கதிர் அலைவு வரைவியைக் கொண்டு துல்லியமாகக் கணக்கிட இந்த இலிஸாஜுஸ் படமுறை பயன் படுகிறது.

(iv) துணிகள்மீது அழகிய படங்கள் அச்சிடவும் இது உதவுகிறது.

எடுத்துக்காட்டுகள்

(i) AB என்ற இரு இசைக்கவைகள் இலிஸாஜுஸ் படங்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இந்தப் படங்கள் 10 விஞடிகள் கொண்ட சுற்றுமுறை ஆக உள்ளன. A-யின் அதிர்வு எண் 200. இதைவிடச் சற்றுக் குறைவான B-யின் அதிர்வு எண்ணைக் கணக்கிடு.

சுற்றுமுறை (cycle) 10 விஞடிகளுக்கு ஒரு முறை வருகிறது.

இதனுல் A, B ஆகியவற்றின் அதிர்வெண்ணின் வேறுபாடு $= 1/10$

A-யின் அதிர்வு எண் $= 200$

எனவே, B-யின் அதிர்வு எண் $= 200-1/10 = 199{\cdot}9$

B-யின் அதிர்வு எண் $= 199{\cdot}9$.

(ii) AB என்ற இரு இசைக்கவைகள் ஏறத்தாழ சமமான அதிர்வெண் உடையவை. இவை இலிஸாஜுஸ் படங்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. 15 விஞடிகளுக்கு ஒரு முறை படங்களின் சுற்றுமுறை வருகிறது. மெழுகைக் கொண்டு A-யைச் சற்று சுமைப்படுத்தினுல் சுற்றுமுறை நேரம் 10 விஞடிகளாகக் குறை கிறது. Bயின் அதிர்வு எண் 200 என்றுல் A-யின் அதிர்வு எண்ணை முன்னும் பின்னும் கண்டுபிடி.

B-யின் அதிர்வு எண் n_1 ஆகவும், A-யின் அதிர்வு எண் n_2 ஆகவும் இருக்கட்டும். சுமைப்படுத்துவதற்கு முன்னுல் படங்கள் 15 விஞடிகளுக்கு ஒரு முறை சுற்றுகின்றன. இதனுல் A, 15 விஞடிகளில் B-யின் அதிர்வுகளைவிட ஒன்று மிகுதியாகப் பெறு கிறது அல்லது இழக்கிறது.

$$n_1 \times 15 \sim n_2 \times 15 = 1$$

$$n_1 \sim n_2 = \frac{1}{15}$$

$$n_1 = n_2 \pm \frac{1}{15}$$

ஆனால் $n_2 = 200$

எனவே, $n_1 = 200 \pm \frac{1}{15}$

$= 200 \pm 0\cdot066$

$= 200\cdot066$ அல்லது $199\cdot934$.

A என்ற இசைக்கவையைச் சற்றுச் சுமை ஏற்றச் சுற்றுமுறை நேரம் 10 விநாடிகளாகக் குறைகிறது. எனவே, *A*-யின் அதிர்வு எண் சுமை ஏற்றியபின்,

$n_1 = n_2 \pm 1/10$

$= 200\cdot100$ அல்லது $199\cdot900$.

ஆனால், சுமை ஏற்றியபின் *A*-யின் அதிர்வு எண் குறைய வேண்டும். ஆகவே, *A*-யின் அதிர்வுஎண் சுமை ஏற்றுவதற்கு முன்னால் $199\cdot934$ அதிர்வுகள் / விநாடி, சுமை ஏற்றியபின் $199\cdot900$ அதிர்வுகள் / விநாடி.

(iii) இரு இசைக்கவைகளின் அதிர்வெண்கள் 1 : 2 என்ற விகிதத்தில் உள்ளன. அவை இலிஸாஜுஸ் படங்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. 12 விநாடிகளுக்கு ஒரு முறை சுற்றுமுறை வருகிறது. பெரிய அதிர்வெண் உடைய இசைக்கவையைச் சற்று சுமை ஏற்றினால் சுற்றுமுறை வேகம் 15 விநாடிகளாக மாறுகிறது. ஒன்றின் அதிர்வெண் 100 ஆனால் மற்றதைக் கணக்கிடு.

இங்கு $n_1 = 100$.

$t = 12$ விநாடிகள்.

சுமை ஏற்றுவதற்கு முன்னால் *B*-யின் அதிர்வெண்

$n_2 = 2n_1 \pm 1/t$ ஏனெனில் $n_1 : n_2 = 1 : 2$

$n_2 = 200 \pm 1/12$

$= 200\cdot083$ அல்லது $199\cdot917$.

உயர் அதிர்வெண்ணுடைய கவைக்குச் சுமை ஏற்றுவதால் அதன் அதிர்வெண் குறைகிறது. சுற்றுமுறை நேரம் மிகுகிறது. எனவே,

$n_2 = 200 \pm 1/15$

$= 200 \pm 0\cdot066$

$= 200\cdot066$ அல்லது $199\cdot934$.

சுமை ஏற்றும்போது அதிர்வெண் குறைவதால் இப்போது அதிர்வெண் குறையவேண்டும்.

ஆகவே, இரண்டாவது கவையின் அதிர்வெண்

= 200·083 (சுமை ஏற்றுவதற்கு முன்னுல்)

= 200·066 (சுமை ஏற்றியதற்குப் பின்னுல்)

(iv) இரு இசைக்கவைகளின் அதிர்வெண்கள் 2 : 1 என்ற விகிதத்தில் இருக்கின்றன. இவை இலிஸாஜூஸ் படங்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. படங்கள் 5 விஞடிகளுக்கு ஒருமுறை சுற்றுகிறது. மிகு சுருதியுடைய கவைக்குச் சுமை ஏற்றிஞல் சுற்று முறை நேரம் 3 விஞடிகளாகக் குறைகிறது. குறை சுருதியுடைய கவையின் அதிர்வெண் 400 ஆஞல் மற்றதைக் கண்டுபிடி.

n_1, n_2 என்பவை இரு கவைகளின் அதிர்வெண்களாக இருக்கட்டும். n_1, n_2-வைவிடப் பெரியது. சுமை ஏற்றுவதற்கு முன்னுல் சுற்று நேரம் 5 விஞடி ஆகையால்

$$n_1 \sim 2n_2 = 1/5$$

$$n_1 = 2n_2 \pm \frac{1}{5}$$

ஆனுல், $n_2 = 400$

எனவே, $n_1 = 2 \times 400 \pm \frac{1}{5}$

$$= 800 \pm 0{\cdot}2$$

$n_1 = 800{\cdot}2$ அல்லது $799{\cdot}8$.

மிகு சுருதிக் கவையைச் சுமை ஏற்றியபின்,

$t = 3$ (விஞடி) ஆனுல்,

$$n_1 = 2n_2 \pm \frac{1}{3}$$

$$= 800 \pm {\cdot}33$$

$$n_1 = 800{\cdot} \pm {\cdot}33$$

$n_1 = 800{\cdot}33$ அல்லது $799{\cdot}66$.

சுமை ஏற்ற அதிர்வெண் குறைதல் வேண்டும். எனவே, சுமை ஏற்றுவதற்கு முன்னுல் அதிர்வெண் 799·8, சுமை ஏற்றிய பின் 799·66.

வினுக்கள்

1. அலைவு இயக்கம் (periodic motion), சீரியல்பான இயக்கம் (Simple Harmonic Motion) ஆகியவற்றை விளக்குக. ஒரே நேர்க் கோட்டில் ஒரு துகள்மீது செயல்படும் இரு சீரியல்பான இயக்கங்களை ஒன்ருகத் தொகுக்கலாம் எனக் காண்பி. தொகுப்பு இயக்கத்தின் வீச்சையும், கட்டத்தையும் கணக்கிடு.

2. செங்குத்துத் திசைகளில் செயல்படும் ஒரே வீச்சும், கட்டமும் உடைய இரு சீரியல்பான இயக்கங்களுக்கு ஒரு துகள் உட்படுத்தப்படுகிறது. அதன் தொகுப்பு இயக்கத்தை வரைபட முறையில் கண்டுபிடிப்பது எவ்வாறு என விளக்கு.

3. ஒரே வீச்சும் கீழ்க்காணும் கட்ட வேறுபாடும் உடைய இரு சீரியல்பு இயக்கங்கள் செங்குத்துத் திசைகளில் ஒரு துகள் மீது செயல்படுகின்றன. அவற்றின் தொகுப்பியக்கத்தைக் கண்டுபிடி.

கட்டவேறுபாடு (*a*) 0 (*b*) $\pi/4$ (*c*) $\pi/2$ (*d*) π

4. இரு சீரியல்பு இயக்கங்கள் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்துத் திசைகளில் செயல்படுகின்றன. அவற்றின் அலைவுநேர விகிதம் 1 : 2 ஆகும். கட்ட வேறுபாடு $\pi/2$. அவற்றின் தொகுப்பு இயக்க வளைகோடு ஒரு பரவளையம் (Parabola) எனக் காண்பி.

5. ஒரே நேரத்தில் செங்குத்துத் திசைகளில் செயல்படும் $\pi/4$ கட்ட வேறுபாடு உடைய இரு சீரியல்பு இயக்கங்களுக்கு உட்படுத்தப்பட்ட துகளின் தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சிக்கு ஒரு கோவை (Expression) பெறுக.

6. இலிஸாஜஸ் படங்கள் பெறப்படும் ஒரு முறைக்கு ஒரு பொதுவான விளக்கம் கொடு. அவை ஒலி இயல் அளவீடு களில் எவ்வாறு பயன்படுகிறது ?

7. இலிஸாஜஸ் படங்கள் என்ருல் என்ன ? ஒளி இயல் முறையில் இலிஸாஜஸ் படங்களைப் பெறும் முறையை விளக்கி எழுது.

8. இலிஸாஜஸ் படங்களைத் தோற்றுவிக்கும் பல்வேறு முறைகள் யாவை ? அவற்ளுள் எது சிறந்தது ?

9. செங்குத்துத் திசைகளில் செயல்படும் சம அலைவு நேரமும், கட்ட வேறுபாடும் உடைய இரு சீரியல்பு இயக்கங்களின் தொகுப்பைக் கண்டுபிடி. கட்டம் சுழியிலிருந்து 2π வரை உள்ள பல்வேறு நிலைகளை விளக்கி எழுது.

10. செங்குத்துத் திசைகளில் செயல்படும் இரு சீரியல்பு இயக்கங்களுக்கு ஒரு துகள் உட்படுத்தப்பட்டால் அது நீள் வட்டத்தில் (Ellipse) இயங்கும் எனக் காண்பி. எந்த நிலையில் நீள் வட்டம், வட்டமாக மாறும் ?

11. இலிஸாஜூஸ் படங்கள் என்றால் என்ன ? அவை இசைக் கவைகளின் சுருதியை ஒப்பிட எவ்வாறு பயன்படுகின்றன ?

12. P, Q என்ற இரு இசைக்கவைகளின் அதிர்வெண்களின் விகிதம் 1 : 2 ஆகும். அவை இலிஸாஜூஸ் படங்களைத் தோற்று விக்கும் போது ஒரு சுற்றுமுறைக்கு 8 விநாடிகள் ஆகின்றன. சுருதி மிகுதி கவைக்குச் சற்று சுமை ஏற்றினால் சுற்றுமுறை நேரம் 5 விநாடியாகக் குறைகிறது. குறை சுருதி உடைய கவையின் அதிர்வெண் 500 ஆனால் மற்றதைக் கண்டுபிடி.

3. அலை இயக்கம்

3·1. அலை இயக்கம்

அலை இயக்கம் என்பது பௌதிகத்தில் மிகவும் அடிப்படையான செயல். ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோர் இடத்திற்கு ஆற்றல் செல்ல வேண்டிய முக்கியமான முறைகளில் இது ஒன்று. ஒலி ஆற்றல் மட்டுமன்றி ஒளி, வெப்பம், மின்காந்த அலைகள், X— கதிர்கள் ஆகியவைகூட அலை இயக்கத்தில்தான் செயல்படுகின்றன. ஓர் ஊடகத்தில் எவ்வாறு அலைகள் தோன்றுகின்றன என்பதை இங்கு காண்போம்.

முதல் தலைப்பிரிவில் (Chapter) ஒரு தனித்த துகளின் சீரியல் பான இயக்கத்தைக் கண்டோம். அது அலை இயக்கத்தை விளக்கப் பயன்படும். மீள் தன்மையுடைய ஓர் ஊடகத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். அதில் ஒவ்வொரு புள்ளியும் அடுத் துள்ளவைகளை இயக்காமல் தான்மட்டும் இயங்காது. ஊடகத்தில் ஒரு துகளுக்கு ஓர் இடப்பெயர்ச்சி ஏற்பட்டால் உடனே அது அடுத்துள்ள துகளுக்குக் கொடுக்கப்படுகிறது. இதே போல் அடுத்தடுத்துள்ள துகள்கள் முந்திய துகள்களிலிருந்து இடப்பெயர்ச்சியை அடையும். இந்த இடப்பெயர்ச்சிகள் மிகுந்தோ அல்லது குறைந்தோ இருக்கலாம். இத்தகைய இயக்கத்தைத்தான் அலைவு இயக்கம் என்கிறோம்.

ஊடகத்தில் அலை விரையும்போது ஒவ்வொரு துகளும் சீரியல் பான இயக்கத்திற்கு உட்பட்டு அதிரும் நிலையை அடைகிறது. இத்தகைய சீரியல்பான இயக்கத்திற்கு உட்பட்ட ஒரு துகள் தொடரைத்தான் (Series of Particles) அலை இயக்கம் என்கிறோம். துகள் தன்னிலையிலேயே இருந்து அதிருமேயன்றி அது அலை இயக்கத்துடன் நகருவதில்லை. தன்னிலையிலிருந்து நகராமல் அதிர்ந்து ஆற்றலை மட்டும் அடுத்தடுத்துள்ள துகள்களுக்கு அனுப்பிக் கொண்டேயிருக்கும். இது அலை இயக்கத்தின் ஒரு பண்பு ஆகும்.

அலை விரையும் ஓர் ஊடகத்தில் அலை இயக்கத்தால் ஆற்றல் அனுப்பப்பட வேண்டுமானால் ஊடகத்திற்குக் கீழ்க்கண்ட குணங்கள் இருக்கவேண்டும்.

1. ஊடகம் மீள் தன்மையை (Elasticity) பெற்றிருக்க வேண்டும். அமைதி குலைவுக்குப்பின் ஊடகம் தன் துவக்க நிலைக்குத் திரும்பவேண்டும்.

2. ஊடகம் ஆற்றலைச் சேமிக்கும் தன்மை உடையதாய் இருத்தல் வேண்டும். ஊடகத்திற்குச் சடத்துவத் தன்மை இருத்தல் வேண்டும்.

3. அலைவு இயக்கத்தைத் தடைப்படுத்தும் அளவிற்கு உராய்வுத் தடைகள் இருத்தல் கூடாது.

எந்த ஊடகத்திலும் துகள்கள் ஒன்றுக்கொன்று ஒருவித மீள் விசையால் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. அதனால்தான் எந்தத் துகளும் அடுத்துள்ள துகளை இயக்காமல் தான் மட்டும் இயங்குவதில்லை. சடத்துவத் தன்மையால் (Inertia) அடுத்துள்ள துகள் முன் துகளைவிட சில நொடிகள் கழித்து இயங்கத் துவங்கும். இதனால் அடுத்தடுத்துள்ள துகள்களுக்கு இடையே கட்ட வேறுபாடு (Phase Difference) இருக்கும். ஒரு தொடர் ஊடகத்தில் (Continuous Medium) ஒரு துகள் அதிரத் துவங்கும் அதே கணத்தில் (Instant) ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவிலுள்ள மற்றொரு துகள் ஒரு முழு அதிர்வை (Full Vibration) முடித்திருக்கும். அலை விரையும் திசையில் சென்றால் ஒவ்வொரு துகளின் கட்டமும் மாறிக்கொண்டே செல்வதைக் காணலாம்.

மீள் சக்தியும் சடத்துவத் தன்மையும் கொண்ட ஒரு துகளிலிருந்து அடுத்தடுத்துள்ள துகள்களுக்கு முன்னேறிச் செல்லும் அதிர்வு இயக்கத்தையே முன்னேறும் அலைகள் Progressive Waves) அல்லது முன்னோடும் அலைகள் என்கிறோம்.

அலைகளில் இருவகைகள் உண்டு. அவை *(1)* குறுக்கு அலைகள் (Transverse Waves) *(2)* நெட்டலைகள் (Longitudinal Waves) எனப்படும்.

3.2. குறுக்கு அலைகள்

ஓர் ஊடகத்தில் அலை விரையும் திசைக்குச் செங்குத்துத் திசையில் ஊடகத்தின் துகள்கள் சீரியல்பு இயக்கத்தில் இருந்தால் விரையும் அலைக்குக் குறுக்கலை எனப்பெயர்.

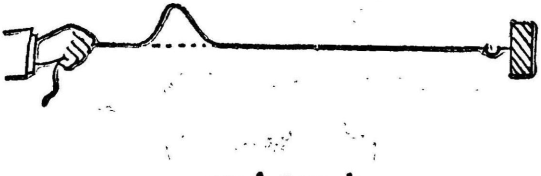
ஓர் அமைதியான நீர்ப் பரப்பின்மீது ஒரு கல்லைப் போட்டால் அது அலைகளை எழுப்புவதைக் காணலாம். இந்த அலை, கல் விழுந்த இடத்திலிருந்து வெளிநோக்கி வட்டங்களாக நகரும். விழுந்த உடன் கல் ஒரு அகடை (Trough) உண்டாக்குகிறது. அடுத்து ஒரு முகடு (Crest) உண்டாக்கப்படும். இந்த முகடு அடுத்தடுத்த நொடிகளில் வெளிநோக்கி நகருவதைக் காணலாம். நீரின் துகள்கள் மேலுங்கீழுமாக அலை செல்லும் திசைக்குச் செங்குத்தாக அசைகின்றன.

ஒரு நீண்ட மெல்லிய கயிற்றின் ஒரு முனை சுவற்றில் உள்ள ஆணியில் கட்டப்பட்டிருக்கிறது. மற்றொரு முனையைக் கையில் பிடித்துக்கொண்டு கயிற்றின் நீளத்திற்குச் செங்குத்துத் திசையில் ஒரு மேல்-கீழ் அசைவு கொடுத்தால், அசைவு கயிற்றின் நீளத்தின் திசையில் சுவரை நோக்கி நகருவதைக் காணலாம். கயிற்றின் பகுதிகள் (துகள்கள்) கயிற்றின் நீளத்திற்குச் (அலைசெல்லும் திசைக்கு) செங்குத்துத் திசையில் அசைகின்றன.

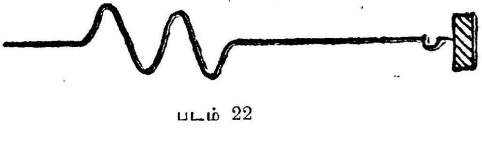
ஒரு மேல்–கீழ் அசைவுக்குப் பதிலாகத் தொடர்ந்து மேலும் கீழும் அசைத்துக் கொண்டிருந்தால் அடுத்தடுத்து அலைகள் கயிற்றில் சென்று கொண்டிருப்பதைக் காணலாம்.

இது குறுக்கலை இயக்கத்திற்கு ஒரு நல்ல எடுத்துக்காட்டு.

ஓர் அலை



அலைத் தொடர்

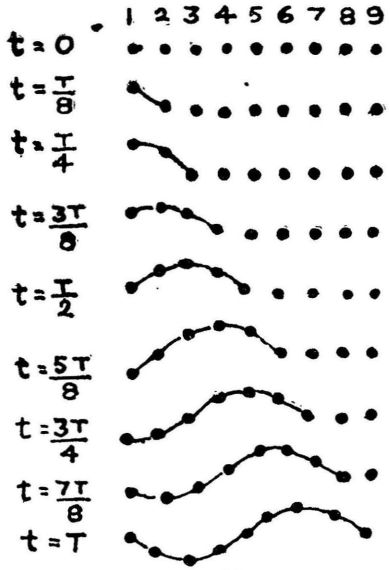


படம் 22

3·3. குறுக்கலை தோன்றும் முறை

குறுக்கலை இயக்கத்தில் அதிரும் துகள் அலை விரையும் திசைக்குச் செங்குத்துத் திசையில் அதிர்வு அடையும். குறுக்கலைகள் தோன்று

வதைக் கீழ்க்கண்டவாறு விளக்கலாம். ஓர் ஊடகத்தில் உள்ள 9 துகள்கள் படத்தில் குறிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. அவை ஒரே நேர்க் கோட்டில் ஒன்றுக்கொன்று சம தொலைவில் இருக்கின்றன. P_1 என்ற துகள் ஒரு சீரியல்பு இயக்கத்திற்கு உட்படுத்தப் படுவதாகக் கொள்வோம். அதன் இடப்பெயர்ச்சி துகள்களின் நேர்க் கோட்டிற்குச் செங்குத்துத் திசையில் இருக்கிறது. இந்த இடப் பெயர்ச்சியை $\frac{T}{8}$ நேரத்தில் அடுத்துள்ள P_2 என்ற துகளுக்குக் கொடுக்கிறது (T-என்பது அலைவு நேரம்). இந்த $\frac{T}{8}$-ல் முதல் துகள் வீச்சின் பாதித் தொலை நகருகிறது. மற்ற துகள்கள் நிலையாய் உள்ளன. நேரம் ஆக ஆக P_2-விலிருந்து P_3, P_4 ஆகிய துகள்களுக்கு அடுத்தடுத்து $\frac{T}{8}$ நேரங்களில் இடப்பெயர்ச்சி சென்று கொண்டிருக்கும். T விநாடிகளில் இந்த இடப் பெயர்ச்சி P_9 என்ற துகளை அடையும். இந்த இடப்பெயர்ச்சி அல்லது அதிர்வு நிலை அடுத்தடுத்து செல்வதைப் படம் விளக்குகிறது. படத்திலிருந்து P_1 P_9 என்றதுகள்கள் ஒரே அதிர்வுநிலையில் அல்லது ஒரே கட்டத்தில் இருப்பதைக் காணலாம். ஆகவே P_1 P_9 என்ற துகள்களுக்கு இடையேயுள்ள தொலைவை அலைநீளம் எனக்கூறுகிறோம். அலை இயக்கம் உள்ள ஓர் ஊடகத்தில் ஒரே அதிர்வுநிலையிலுள்ள அடுத்தடுத்துள்ள இரு துகள்களுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு அலை நீளம் (Wave Length) எனப்படும். குறுக்கலையில் அகடு (Trough) களும், முகடு (Crest) களும் மாறி மாறி இருக்கும். இரு அடுத்தடுத்துள்ள அகடுகளுக்கு அல்லது முகடுகளுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு ஓர் அலைநீளத்திற்குச் சமமாகும். அலைநீளத்தை λ (Lambda) என்ற எழுத்தால் குறிக்கிறோம்.



படம் 23

அலைநீளம் என்பது ஒரு முழு அலைவு நேரத்தில் அலை நகரும் தொலைவு ஆகும். அல்லது அடுத்தடுத்து ஒரே கட்டத்தில் உள்ள இரு துகள்களுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு ஆகும்.

3·4. அலை வேகத்திற்கும், அலை நீளத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு

மேலே குறிப்பிட்ட முறையில் குறுக்கலை தோன்றும்போது P_1 என்ற துகளில் ஏற்பட்ட இடப் பெயர்ச்சி P_9 என்ற துகளை அடைய எடுத்துக்கொண்ட நேரம் T விஞடிகள் ஆகும். இதுதான் அலைவு நேரம்.

T விஞடிகளில் λ தொலைவு சென்ருல் அது ஒரு விஞடியில் $\frac{\lambda}{T}$ தொலைவு செல்லும்.

ஆகவே, அலைவேகம் $v = \frac{\lambda}{T}$

அல்லது $\lambda = vT$

T என்பது அலைவு நேரத்தைக் குறிப்பதால், அதன் தலைகீழ் மதிப்பு $\frac{1}{T}$ அதிர்வு எண்ணைக் குறிக்கும். ஏனெனில், ஒரு விஞடியில் தோன்றும் மொத்த அதிர்வுகள் $\frac{1}{T}$ ஆகும்.

$$n = \frac{1}{T}$$

n என்பது ஒரு விஞடியில் ஏற்படும் அதிர்வுகளைக் குறிப்பதால் அது அதிர்வு எண் எனப்படும்.

$$\therefore \lambda = vT$$

$$= \frac{v}{n}$$

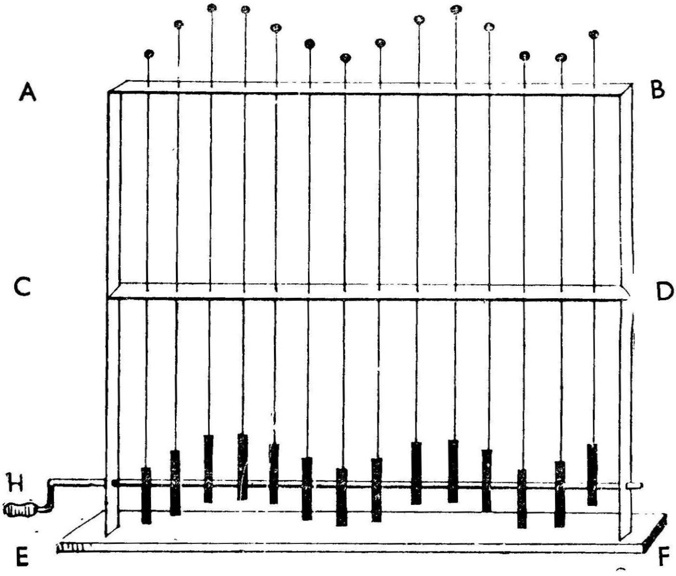
$$\boxed{v = n\lambda}$$

இது அலைவேகம், அலைநீளம், அதிர்வு எண் ஆகியவற்றின் தொடர்பைக் காட்டும் சமன்பாடு ஆகும்.

3·5. குறுக்கலை—செய்முறையில் விளக்கிக் காட்டல் (Demonstration)—குறுக்கலைக் கருவி

குறுக்கலைகள் (Transverse Waves) தோன்றும் விதத்தைக் கீழ்க் கண்ட (படத்தில் காட்டியுள்ள) கருவி விளக்கிக் காட்டுகிறது. $ABCDEF$ என்பது மரச் சட்டங்களால் ஆன ஒரு தாங்கி ஆகும். இதன் கிடைத்தள சட்டங்களில் துளைகள் உண்டு. துளைகள் சம தொலைவில் உள்ளன. நீண்ட உலோகத் தண்டுகள் (Metal Rods) செங்குத்தாக இத்துளைகள் வழியே செலுத்தப்பட்டு நிறுத்தி வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. உலோகத் தண்டுகளின் மேல் முனை

களில் சிறிய உலோக உருண்டைகள் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. இவையும் தண்டுகளுடன் மேலும் கீழும் இயங்கும். ஒவ்வொரு தண்டின் கீழ் முனையும் வட்டமான தட்டுகளின் சுற்றுப்புற ஓரங்களில் அதன் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும். வட்டத் தட்டுகள் (Circular Discs) ஒரு நீண்ட சுழல் தண்டிற்குத் (Shaft) தட்டுகளின் மையத்தைவிட்டுத் தள்ளி வேற்று மையமாகப் (Eccentric) பொருத்தப்பட்டிருக்கும். சுழல் தண்டு சுழலும்போது வட்டத் தட்டுகள் வெவ்வேறு நிலைகளில் சுழலும். அப்போது ஒவ்வொரு தட்டும் மற்றதைவிடச் சிறிது மாறுபட்ட இடப் பெயர்ச்சியைக் கொண்டிருக்கும். இதனால், தட்டுகளின் ஓரத்தில் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும் உலோகத் தண்டுகளும் மாறுபட்ட இடப் பெயர்ச்சியை அடையும். சுழல் தண்டு சீரான



படம் 24

வேகத்தில் சுழலும்போது உலோகத் தண்டுகளின் முனைகளில் உள்ள உலோக உருண்டைகளைக் கவனித்தால் அவை குறுக்கலை செல்லும் ஊடகத்தின் துகள்கள் போல் மேலும் கீழும் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும்.

3·6. நெட்டலைகள்

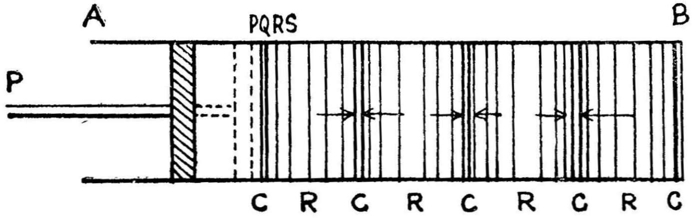
ஓர் ஊடகத்தில் அலைவிரையும் திசைக்கு இயல்பான திசையில் ஊடகத்தின் துகள்கள் சீரியல்பு இயக்கத்தில் இருந்தால் அது ஒரு நெட்டலை எனப்படும்.

ஒலி இயலில் நெட்டலைகள் மிக முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவை. ஏனெனில், காற்றில் ஒலி அலைகள் நெட்டலைகளாகத்தான் பரவுகின்றன. ஒலிமூலத்தில் இருந்து நம்முடைய செவிக்கு ஒலி நெட்டலைகளாகத்தான் வந்துசேருகின்றது. குறுக்கலைகள் காற்று போன்ற ஊடகத்தில் தோன்றுவதில்லை. ஏனெனில், காற்று அல்லது மற்ற வாயுக்களின் துகள்களிடையே ஓரியல் கவர்ச்சி (Cohesion) இல்லை. இதனால் குறுக்கலை இயக்கத்திற்குத் தேவையான மீள் விசை தோன்றுவதில்லை. காற்றில் தோன்றும் திரிபு, பருமத் திரிபாகத்தான் (Volume Strain) இருக்கும். இதனால் காற்றில் இறுக்க அலைகள்—இறுக்கமும் தளர்ச்சியும் கொண்ட அலைகள் மட்டுமே தோன்றிப் பரவுகின்றன. ஒலி அலைகள் நீண்ட அலை நீளங்களை உடையன. எனவே, கம்பிகளில் தோன்றும் குறுக்கலைகளைப் போலவோ, நீர்ப்பரப்பில் தோன்றும் அலைகளைப் போலவோ அவை நம் கண்ணுக்குத் தெரியா. இருந்தாலும் குறுக்கீடு (Interference), விம்மல்கள் (Beats), கூட்டோசைகள் (Combination Tones) போன்றவற்றை அவை தோற்றுவிக்கின்றன. இவற்றை எளிதாகச் செயல்முறையில் விளக்கலாம்.

நெட்டலைகள் பரவும் ஊடகத்திலுள்ள துகள்கள் அலை செல்லும் திசைக்கு இணையான திசையில் முன்னும் பின்னும் சீரான அலைவு நேரத்துடன் இயங்குகின்றன. இதனால் துகள்களின் இறுக்கமும், தளர்ச்சியும் (அடர் குறைப்பு) மாறிமாறித் தோன்றுகின்றன. இங்கும் குறுக்கலைகளில் போல் துகள் தன்னுடைய நடுநிலைமையிலிருந்து சிறிது தொலைவு நகருகிறது. ஆகவே, ஆற்றல் ஊடகத்தில் முன்னேக்கி அனுப்பப்படுகிறது, நெட்டலைகளைப் பற்றி ஒரு பொதுவான கருத்தைப் பெற *AB* என்ற நீள் உருளைக் கூடு ஒன்றை எடுத்துக்கொள்வோம். அதன் ஒரு (*BC*) முனை மூடப்பட்டிருக்கிறது. மற்றொரு முனையில் ஓர் இறுக்கமான பிஸ்டன் (*P*) பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது.

பிஸ்டன் அதனுள் முன்னும் பின்னும் எளிதாக இயங்கக் கூடியது. பிஸ்டன் திடீரென்று முன்னே (இடமிருந்து வலமாக) நகர்ந்தால், பிஸ்டனை அடுத்துள்ள *PQ* என்ற காற்று அடுக்கு (Air Layer) உடனே இறுக்கப்படும். இந்த இறுக்கத்தைக் குறைக்க அது வலதுபுறம் முன்னே நகரும். இப்போது அதை அடுத்துள்ள *QR* என்ற காற்று அடுக்கு இறுக்கப்படும். இதேபோல் அடுத்தடுத்துள்ள அடுக்குகள் இறுக்கப்பட்டு, ஓர் இறுக்கத் துடிப்பு (Pulse of Compression) ஊடகத்தில் முன்னேக்கி நகர்ந்து செல்லும். பிஸ்டன் திடீரென்று பின்னேக்கித் தள்ளப்படுவதாகக் கொள்வோம். *PQ* என்ற காற்று அடுக்கு தளர்ச்சி அடைந்து ஒரு அடர் குறைப்பும், அழுத்தக் குறைவும் தோன்றும். உடனே *QR* என்ற

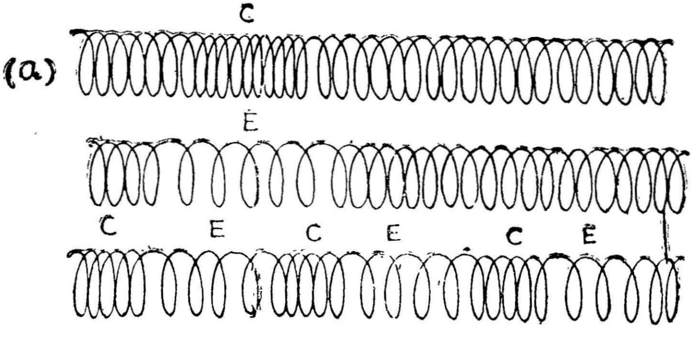
அடுக்கிலிருந்து *PQ* என்ற பகுதிக்கு காற்றுத் துகள்கள் நகரும். இதனுல் *QR*-ல் அழுத்தக் குறைவு (அடர்குறைப்பு) தோன்றும். இதேபோல் அடுத்தடுத்துள்ள துகள்களில் அடர்குறைப்புதோன்றி, அது இடப்புறத்திலிருந்து வலதுபுறமாக நகரும் (படம் 25).



படம் 25

பிஸ்டன் முன்னும் பின்னுமாக விரைவாக நகர்ந்துகொண்டிருந்தால் இறுக்கமும், தளர்ச்சியும் (அடர்குறைப்பும்) மாறி மாறிக்கொண்டுள்ள ஓர் அலை, நீள் உருளைக்கூட்டில் வலப்புறமாக விரையும். இதனுல் காற்றின் துகள்கள் முன்னும் பின்னுமாக உருளையின் நீள் அச்சுக்கு இணையாக இயங்கும். ஆகவேதான் இறுக்கமும், தளர்ச்சியும்கொண்ட அலைகளை நெட்டலைகள் (Longitudinal Waves) என்கிருேம்.

காற்றிலும் மற்ற பொருள்களிலும் ஒலி நெட்டலைகளாகத் தான் பரவுகிறது. ஓர் ஒலி அலை ஓர் ஊடகத்தில் செல்லும்போது அடர்த்தி மிகுந்துள்ள இறுக்கமும், அடர்த்தி குறைந்த தளர்ச்சியும் அடுத்தடுத்து ஏற்பட்டு எழும் இடத்திலிருந்து மற்ற இடங்களுக்கு



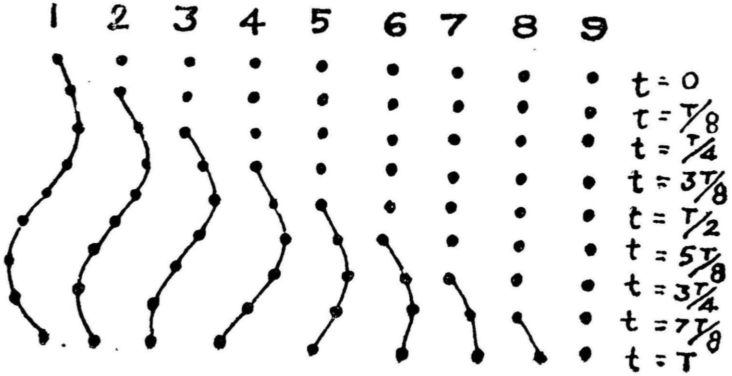
படம் 26

ஒலி பரவுகிறது. நெட்டலையில் நெருக்கமும், தளர்ச்சியும் அடுத்தடுத்துச் செல்வதை ஒரு நீளமான சுருள் கம்பியைக்கொண்டு விளக்கலாம். படம் 26 (a) சீரான அமைப்புடைய ஒரு சுருள்

கம்பியைக் காட்டுகிறது. அதன் ஒரு முனையில் திடீரென்று தட்டினால் அந்த அழுத்தம் சுருள் கம்பியின் சில பிரிகளை ஒன்றோடொன்று அமுக்கி ஓர் இறுக்கத்தைத் தோற்றுவிக்கும். அந்த இறுக்கம் சுருள் கம்பியின் வழியே நகர்ந்து செல்வதைக் காணலாம். சுருள் கம்பியின் முனை சற்றே இழுக்கப்பட்டால் சில பிரிகள் தனித் தனியே விலகி ஒரு தளர்ச்சி ஏற்படும். இந்தத் தளர்ச்சியும் சுருள் கம்பி வழியே நகர்ந்து செல்வதைக் காணலாம். சுருள் கம்பியின் முனையில் அழுத்தமும், இழுவையும் மாறி மாறிக் கொடுக்கப்பட்டால் இறுக்கமும், தளர்ச்சியும் அடுத்தடுத்து சுருள் கம்பி வழியே செல்வதைக் காணலாம். இது நெட்டலை இயக்கத்திற்கு ஒரு நல்ல எடுத்துக் காட்டு.

3·7. நெட்டலைகள் தோன்றும் முறை

நெட்டலைகள் தோன்றுவதைக் கீழ்க்கண்டவாறு விளக்கலாம். ஓர் ஊடகத்தில் உள்ள ஒன்பது துகள்களை எடுத்துக்கொள்வோம். அவை ஒரு நேர்க் கோட்டில் ஒன்றுக்கொன்று சமதொலைவில் அமைந்திருக்கின்றன. எல்லாத் துகள்களும் துவக்கத்தில் $(t=0)$ அமைதி நிலையில் (rest) இருக்கின்றன. முதல் துகள் நேர்க் கோட்டின் திசையில் அதிர்வு அடையும்படிச் செய்யப்படுகிறது.



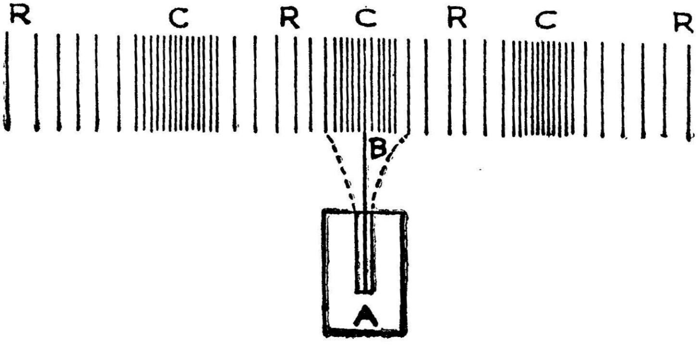
படம் 27

துவக்கத்தில் $(t=0)$ எல்லாத் துகள்களும் ஒரே கட்டத்தில் (Same phase) இருக்கின்றன. முதல் துகளின் அதிர்வு $\frac{t}{8}$ நேரத்தில் இரண்டாவது துகளுக்குச் செல்லும். t-என்பது அலைவு நேரத்தைக் குறிக்கிறது. இந்த நேரத்தில் முதல் துகள் நடுநிலையிலிருந்து அரை வீச்சுத் தொலைவில் இருக்கும். மற்ற துகள்கள் நிலையாக இருக்கும். அடுத்த $\frac{t}{8}$ நேரத்தில் அதிர்வு மூன்றாவது துகளை அடை-

யும். நேரம் ஆக ஆக மூன்ருவது, நான்காவது என்று அடுத் தடுத்த துகள்கள் தொடர்ந்து அதிர்கின்றன. இந்த இடப் பெயர்ச்சி இறுதியில் ஒன்பதாவது துகளை அடைகிறது. இதற்கு அது எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் *t* விஞடிகளாகும். இந்த இடப் பெயர்ச்சி 9-வது துகளை அடையும்பொழுது முதல் துகளும் அதே திசையில் இரண்டாம் முறையாக இடப் பெயர்ச்சியைத் துவங்கும். இந்தக்கணத்தில் முதல் துகளும், ஒன்பதாவது துகளும் ஒரே கட்டத்தில் இருக்கும். முதல் துகளில் தோன்றிய இடப் பெயர்ச்சி ஒன்பதாவது துகளுக்குப் போய்ச் சேர *t* விஞடிகளாகும் எனக்கண்டோம். முதல் துகளுக்கும், ஒன்பதாவது துகளுக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு அலைநீளமாகும் (Wave Length). ஏனென் ருல், அலைநீளம் என்பது ஒரே அதிர்வு நிலையில் அடுத்தடுத்துள்ள இரு துகள்களுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு ஆகும். மேலே சொன்னவாறு துகள்கள் அமைந்த நேர்க் கோட்டுக்கு இணையாக இடப் பெயர்ச்சி அடைந்து அதிரும்போது சில துகள்கள் ஒன்றுக் கொன்று பக்கத்தில் வரும். இதைத்தான் இறுக்கம் (Compression) என்று கூறுகிருேம். அதே நேரத்தில் வேறு சில துகள்கள் ஒன்றி லிருந்து மற்ருென்று தள்ளிப் போகும். இது தளர்ச்சி அல்லது அடர்குறைப்பு (Rarifaction) எனப்படும்.

3·8. காற்றில் நெட்டலைகள்

ஓர் உறுதியான உலோகத் தட்டு *A* என்ற பகுதியில் உறுதி யாகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. மறுமுனை *B* ஒரு பக்கமாக இழுத்து விடப்பட்டால் அந்த உலோகத் தகடு அதிரத் துவங்கும். உலோகத் தட்டின் ஓரங்களில் உள்ள நிலைகள் புள்ளிக் கோட்டால்



படம் 28

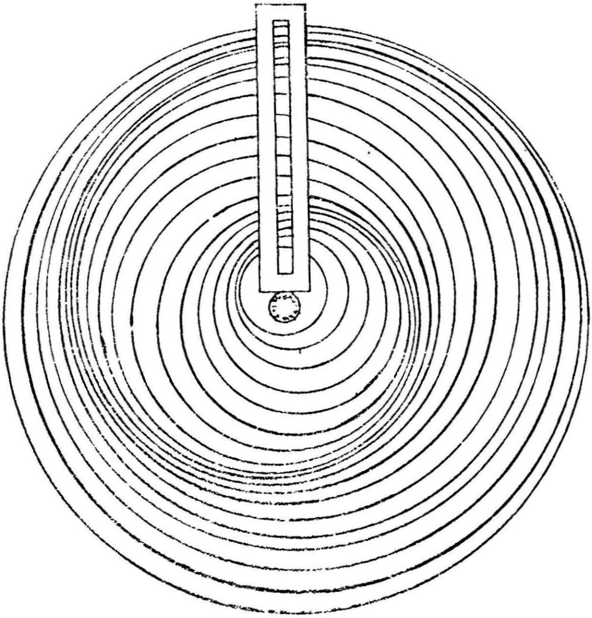
குறிக்கப்பட்டிருக்கின்றன (Dotted Lines). *B* என்ற முனை ஒரு பக்கமாகச் (வலப் பக்கமாக) சாயும்போது அதை அடுத்துள்ள

வலப்புறக்காற்றுத் துகள்கள் இறுக்கப்படுகின்றன. இந்த இறுக்கம் *B* என்ற முனை அந்த இடத்தில் இருக்கும்வரை நீடிக்கும். அடுத்த கணத்தில் *B* என்ற முனை எதிர்ப்பக்கத்தில் (இடப் பக்கத்தில்) சாயும். இப்போது வலப்பக்கத்தில் *B* என்ற முனை நகர்ந்துவிட்டதால் காற்றுத் துகள்கள் விரிவடைகின்றன. இந்த விரிவு அல்லது தளர்ச்சி இறுக்கத்தை அடுத்து ஏற்படுகிறது. அதே நேரத்தில் இடப்புறத்தில் இறுக்கம் ஏற்படுகிறது. மீண்டும் *B* என்ற முனை வலப்பக்கம் சாயும்போது மற்றொருமுறை இறுக்கம் தோன்றும். முன் தோன்றிய இறுக்கம் இந்த நேரத்தில் சிறிது தொலைவு கடந்து சென்றிருக்கும். இப்போது தோன்றிய இரண்டாவது இறுக்கத்திற்கும், முன் தோன்றிய முதல் இறுக்கத்திற்கு மிடையே தளர்ச்சி இருக்கும். இவ்வாறு *B* என்ற முனை இட வலமாகச் சாய்ந்து அதிரும்போது இறுக்கமும், தளர்ச்சியும் அடுத்தடுத்து இரு புறங்களிலும் தோன்றுகின்றன. இவை சீரான வேகத்துடன் நகர்ந்து செல்லும். இப்படித்தான் காற்றில் நெட்டலை தோன்றி அதன் வழியே பரவுகிறது.

3·9. 'குரோவா'வின் வட்டத்தட்டு (Crova's disc)

காற்றில் நெட்டலை விரையும்போது அதில் தோன்றும் இறுக்கத்தையையும், தளர்ச்சியையும் எடுத்துக் காட்டும் ஒரு கருவி குரோவாவின் வட்டத்தட்டு ஆகும். இந்த வட்டத்தட்டை உருவாக்குவது மிக எளிது. ஒரு பெரிய அட்டையாலான வட்டத்தட்டை எடுத்துக்கொள்வோம். அதில் $\frac{3}{16}$ அங்குலம் ஆரமுடைய ஒரு வட்டம் வரையவும். இந்த வட்டத்தை 8 சம பாகங்களாகப் பிரித்துக் கொள்ளவும். ஒவ்வொரு புள்ளியையும் *A, B, C, D*......எனக் கொள்வோம். ஒவ்வொரு புள்ளியையும் மையமாகக் கொண்டு முறையே $\frac{1}{2}$ அங்குலம், $\frac{3}{4}$ அங்குலம் 1 அங்குலம்......ஆரங்களாகக் கொண்ட வட்டங்கள் வரையவும், இந்த வட்டங்கள் அட்டையின் பரப்பு முழுவதும் அடைத்துக் கொண்டிருக்கும். சில இடங்களில் இந்த வட்டங்கள் மிக நெருக்கமாகவும் வேறு சில இடங்களில் தள்ளித் தள்ளி இருப்பதையும் காணலாம். இதுதான் குரோவாவின் வட்டத்தட்டு ஆகும். இது செங்குத்துத் தளத்தில் அதன் மையம் வழியே செல்லும் கிடைத்தள அச்சைக்கொண்டு சுழலும்படி அமைக்கப்படுகிறது. தட்டுக்கு முன்னுல் ஒரு நீள் சதுரப் பிளவு (Slit) கொண்ட ஒரு சிறிய அட்டை வைக்கப்படுகிறது. நீள் சதுரப் பிளவின் ஒரு முனை வட்டத் தட்டின் மையத்தில் இருக்க வேண்டும். வட்டத்தட்டு சுழலும் போது நீள் சதுரப் பிளவை நோக்கினுல் அதில் கோடுகள் மேலிருந்து கீழ் நெருக்கமாகவும், தளர்ச்சியாகவும் அடுத்தடுத்து

செல்வதைக்காணலாம். இது நெட்டலையின் இறுக்கமும், தளர்ச்சியும் அடுத்தடுத்து செல்வதைப் போன்றிருக்கும். இது நெட்டலை இயக்கத்திற்கு ஒரு நல்ல விளக்கமாகும்.



படம் 20

3·10. ஒலி அலைகள் அழுத்தத்தைக் (Pressure) கொடுக்கும்

ஒரு பரப்பில் ஓர் ஒலி அலைத்தொடர் விழுந்தால் அதன் மீது ஓர் அழுத்தத்தைக் கொடுக்கும். படும் அலைகளை உட்கவரும் தன்மையுடையதாய் பரப்பு இருந்தால் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவே அழுத்தம் இருக்கும். பரப்பு எதிரொலிக்கக் கூடியதாக இருந்தால் அழுத்தம் ஏறத்தாழ இருமடங்காக இருக்கும். எனவே, அலைகள் உந்தத்தைப் (Momentum) பெற்றிருக்கின்றன என அறிகிறோம். இதைச் செய்முறையில் விளக்கிக் காட்ட இரு பெரிய குழி ஆடிகளை எடுத்துக் கொள்வோம். இவை ஒன்றுக்கொன்று எதிராக ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவில் ஒரே அச்சில் வைக்கப்படுகின்றன. ஒன்றின் குவியத்தில் மின்பொறி தோற்றுவிக்கும் கருவியொன்று (Electric Sparks) வைக்கப்படுகிறது. மற்றதன் குவியத்தில் ரேடியோ மைக்ரோமீட்டர் ஒன்று வைக்கப்படுகிறது. இப்போது மின்பொறி தோன்றுமாறு செய்தால் அதிலிருந்து ஒரு நொறுங்கும் ஒலி (Cracking Sound) எழும். இந்த ஒலி நெட்டலைகளாகப்

பரவி முதல் ஆடியில் எதிரொலிக்கப்படுகிறது. இவை அடுத்த ஆடியை நோக்கி இணைக்கற்றைகளாகச் செல்லும். இரண்டாவது ஆடியால் இவை மைக்ரோமீட்டர்மீது குவிக்கப்படும் இதனுல் மைக்ரோமீட்டரில் உள்ள தகடுகள் அழுத்தத்தைப் பெற்றுப் பின்னேக்கி நகரும். ஒலி அலைகள் தொடர்ந்து விழ, தட்டுகள் சுற்றுவதைக் காணலாம். இது ஒலி அலைகள்தாம் படும் பரப்பின் மீது அழுத்தத்தைக் கொடுக்கின்றன என்பதைக் காண்பிக்கிறது.

3·11. ஒருதள அலைகளும், கோள அலைகளும் (Plane waves and Spherical waves)

முன்பு நீள் உருளைக் கூட்டில் உள்ளக் காற்றுத் துகள்கள் நெட்டலை இயக்கத்தில் அதிர்வதைக் கண்டோம். ஒரு தளத்தில் உள்ள எல்லாத் துகள்களும் சீரியல்பான இயக்கத்தில் இருந்தால் எல்லாத் துகள்களும் சமநிலையிலிருந்து ஒரே அளவு இடப் பெயர்ச்சி பெற்றிருக்கும். இவையெல்லாம் ஒரே கட்டத்தில் இருக்கும். மீட்சித் தன்மையுடைய ஓர் ஊடகத்தில் இப்படிப் பட்ட அலைவுகளை ஒருதள அலைத் தொடர்ச்சி (Plane Wave Train) என்று கூறுகிறோம்.

அலை விரையும் திசைக்குச் செங்குத்தாக உள்ள ஒரு தளத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். இந்தத் தளத்தில் அலையின் இடப் பெயர்ச்சி துவங்கியிருக்கிறது. இந்தத் தளத்தை அலைமுதம் (Wave Front) என்கிறோம். ஒரு கணத்தில் ஒரே கட்டத்தில் உள்ள பல்வேறு புள்ளிகளின் நியமப்பாதை (Locus) தான் அலைமுகம் ஆகும்.

ஒருதள அலையில் அலைமுகங்கள் தளங்களாகவே (Planes) இருக்கும். எனவே, வீச்சும் வலிமையும் மாறிலிகளாக இருக்கும். ஆற்றலும் ஒரே அளவாக நகரும். ஆகவேதான், ஒலியின் (அல்லது ஒளியின்) ஒருதள அலைமுகங்கள் (Plane Wave Fronts) ஆற்றலை இழக்காமல் நெடுந்தொலைவு செல்கின்றன.

ஆனல், நடைமுறையில் நாம் காணும் அலைகள் கோள இயல் புடையவை. இவை ஊடகத்தின் ஒரு புள்ளியின் சீரியல்பான இயக்கத்தில் தோன்றுபவை. ஒரு சிறிய கோளம் சீரியல்பாகச் சுருங்கியும், விரிந்துகொண்டும் இருப்பதாகக் கொள்வோம். கோளம் விரிவடையும்போது அதைச் சுற்றியுள்ள காற்றுத் துகள்கள் இறுக்கப்படும். இந்த இறுக்கம் காற்றில் அடுத்தடுத் துள்ள அடுக்குகளுக்குத் தரப்பட்டு இறுக்கமானது வெளியே பரவிச் செல்கிறது. கோளம் சுருங்கும்போது அதை அடுத்துள்ள காற்று

அடுக்கு தளர்ச்சியடைகிறது. இந்தத் தளர்ச்சியும் அடுத்தடுத்துள்ள அடுக்குகளுக்கு மாறி வெளியே செல்லும். சீரியல்பு இயக்கத்தில் சுருங்கியும், விரிந்தும் இயங்கும் கோளம் இறுக்கத்தையும், தளர்ச்சியையும் வெளிநோக்கி அனுப்பிக்கொண்டே இருக்கும். இது ஒரு கோள அலை தோன்றும் முறைக்கு விளக்கமாகும். இங்குக் காற்றுத் துகள் இயங்கும் திசை கோளத்தின் ஆரத்திற்கு இணையாக அமையும்.

தள அலைகளில் உள்ளதுபோல் கோள அலைகளில் வலிமை (Intensity) மாறிலியாக இருக்காது. ஒரு கணத்தில் ஒரு கோள பரப்பைக் கடந்து செல்லும் ஆற்றல் கோளத்தின் பரப்பைப் பொறுத்து அமையும். ஆனால், கோளத்தின் பரப்பு அதன் ஆரத்தின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது. கோள அலையின் ஆரம் பெருகிக் கொண்டே இருப்பதால், ஒவ்வொரு கணத்திலும் வலிமை மாறிக்கொண்டே இருக்கும். ஒரு சதுர செ.மீ. பரப்பைக் கடந்து செல்லும் ஆற்றல் கோள ஆரத்தின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கிறது.

எனவே, ஒரு புள்ளியில் ஒலியின் வலிமை அதன் மூலத்தில் இருந்து புள்ளி உள்ள தொலைவின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும். ஆற்றல் வீச்சின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்தில் இருப்பதால் ($E \propto a^2$) கோள அலைகளின் வீச்சுகள் அதன் ஒலி மூலத்தில் இருந்து உள்ள தொலைவுக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

3·12. இடப்பெயர்ச்சி, திசைவேகம், முடுக்கம் ஆகியவற்றின் வளைகோடுகள்

இடப்பெயர்ச்சி

சீரியல்பு அலையின் சமன்பாடு

$$y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}\left(vt - x\right)$$

$$= a \sin 2\pi\left(\frac{vt}{\lambda} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$= a \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \quad \because \frac{v}{\lambda} = \frac{1}{T}$$

$$= a \sin \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{\lambda}\cdot T\right)$$

$$= a \sin \omega\left(t - \frac{x}{v}\right)$$

$$v = n\lambda = \frac{\lambda}{T}\cdot$$

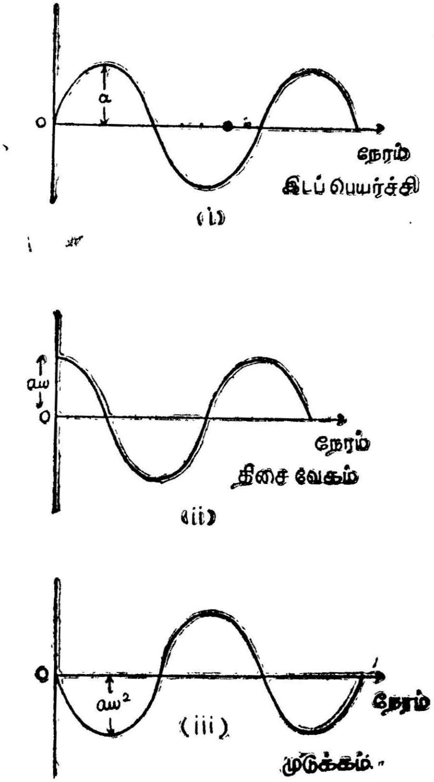
இப்போது நாம் துவக்கப் புள்ளியிலிருந்து (Origin) x_1 தொலைவில் உள்ள ஒரு புள்ளியை எடுத்துக்கொள்வோம். இந்தப் புள்ளியின் இடப்பெயர்ச்சி

$$y = a \sin \omega \left(t - \frac{x_1}{v} \right).$$

இந்த இடப்பெயர்ச்சி, $t = \dfrac{x_1}{v}$ விஞடிகளுக்குப் பிறகு சுழியாக ஆகிவிடும். ஆகவே இந்தப் புள்ளி $\dfrac{x_1}{v}$ விஞடிகளுக்குப் பின் தான் அதிரத் தொடங்கும். இதனுல் துவக்கப் புள்ளியின் இடப் பெயர்ச்சி

$$y = a \sin \omega t \text{ ஆகும்.}$$

நேரம் t-க்கும் இடப் பெயர்ச்சி y-க்கும் ஒரு வரைபடம் வரைந்தால் அது படம் 30 (i)ல் உள்ளதுபோல் இருக்கும்.



படம் 30

திசை வேக வளைகோடு (Velocity curve)

அலை இயக்கத்துக்குட்பட்ட துகளின் வேகம்

$$u=\frac{dy}{dt}=a\,\omega\cos\omega\left(t-\frac{x}{y}\right)$$

$x = x_1$ தொலைவில் உள்ள துகளின் வேகம்

$$u=\frac{dy}{dt}=a\,\omega\cos\omega\left(t-\frac{x_1}{v}\right)$$

நேரம் $t=o$ ஆனல்,

$$u=\frac{dy}{dt}=a\,\omega\cos\omega t.$$

$$u=a\,\omega\sin\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right).$$

இதிலிருந்து திசைவேகம் இடப்பெயர்ச்சியைவிட $\pi/2$ அல்லது 90° முன்னே இருக்கிறது (Leads) எனத் தெரிகிறது. திசைவேகத்திற்கும், நேரத்திற்கும் வரைபடம் வரைந்தால் அது ஒரு (கொசைன்) (Cosine) வளைகோட்டைத் தரும்.

படம்......30 (ii)

துகளின் முடுக்கம்

அலையின் சமன்பாடு,

$$y=a\sin\omega\left(t-\frac{x}{v}\right)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2}=-a\,\omega^2\sin\omega\left(t-\frac{x}{v}\right)$$

$x=x_1$ தொலைவில் உள்ள துகளின் முடுக்கம்,

$$\frac{d^2y}{dt^2}=-a\,\omega^2\sin\omega\left(t-\frac{x_1}{v}\right).$$

நேரம் $t=\frac{x_1}{v}$ எனக்கொண்டால்,

$$\frac{d^2y}{dt^2}=-a\,\omega^2\sin\omega t.$$

எனவே, முடுக்கம் இடப்பெயர்ச்சிக்கு 180° or π கட்டம் பின்தங்கி (Lags) இருக்கிறது. நேரம்–முடுக்கத்தின் வரைபடம் வரைந்தால் அது சைன் (sin) வளைகோடாகவே இருக்கும். ஆனல், வீச்சு $a\,\omega^2$ ஆக இருக்கும். படம்......30 (iii).

3·13. அலைவேகம், அலைநீளம் ஆகியவற்றின் தொடர்பு

அலை இயக்கம் பல்வேறுபட்ட வடிவங்களைக் கொண்டிருக்கலாம். ஒலி இயலில் நாம் சைன் (sin) அலை வடிவத்தைப்

பற்றியே படிக்கிறோம். ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வு எண்ணோடும், அலைவு நேரத்தோடும் உள்ள அலைவு இயக்கம் இத்தகைய அலைத் தொடர்களைத் தோற்றுவிக்கும். அதிரும் உலோகத் தகடு அல்லது இசைக்கவை இத்தகைய அலைகளைத் தோற்றுவிக்கலாம். அலைமூலம் விநாடிக்கு 'n' தடவைகள் அதிர்ந்தால் அது தோற்றுவிக்கும் அலைகளின் எண்ணிக்கையும் 'n' ஆகும். ஊடகத்தின் ஒரு புள்ளியில் ஒரு விநாடியில் கடந்து செல்லும் அலைகளின் எண்ணிக்கை 'n' ஆகும். ஆகவே, ஒரு அலைத்தொடரின் அதிர்வுஎண் ஒலிமூலத்தின் அதிர்வு எண்ணுக்குச் சமமாகும்

$$\text{அலைவு நேரம்} \quad T = \frac{1}{n}$$

$$\text{அல்லது} \quad n = \frac{1}{T}$$

ஒரு ஊடகத்தில் அலைத்தொடர் 'n' வேகத்துடன் செல்வதாகக் கொள்வோம். ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் $(t = o)$ A என்ற புள்ளியில் ஓர் இறுக்கம் இருப்பதாகக் கொள்வோம். ஒரு விநாடிக்குப் பின் இந்த இறுக்கம் B என்ற புள்ளிக்கு வந்து சேரும். A, B ஆகியபுள்ளிகட்கு இடையேயுள்ள தொலைவு v ஆகும். A, B என்ற இரு புள்ளிகளுக்கு இடையே (n) அலைகள் உள்ளன. ஆகவே, ஓர் அலையின் நீளம்

$$\lambda = \frac{v}{n} = vT.$$

$$\text{அல்லது} \quad \boxed{v = n\lambda}$$

3·14. நெட்டலையின் குணங்கள்

1. அலைவிரையும் திசையில் எல்லாத் துகளும் தள அலையில் இருந்தால் அவை சம வீச்சுடன் சீரியல்பில் இயங்கும். கோள அலையில் இருந்தால் வீச்சு மூலத்தின் தொலைவிற்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

2. அலையிலுள்ள துகள்கள் ஒரே கட்டத்தில் இயங்குவதில்லை. ஒரு துகளிலிருந்து அடுத்தடுத்துச் செல்லும்போது, ஒரு தொடர்ச்சியான கட்ட வேறுபாடு இருக்கும்.

3. துகள்களின் சீரியல்பு இயக்கம் அலைவிரையும் திசையில் தொடர்ந்து இறுக்கத்தையும், தளர்ச்சியையும் அனுப்பிக் கொண்டே இருக்கும். இறுக்கத்தில் துகள்கள் அலைவிரையும் திசையில் நகரும். தளர்ச்சியில் எதிர்த்திசையில் நகரும்.

4. துகள்களின் முன்பின் இயக்கத்தை ஒரு சைன் (sin) வரை கோட்டால் குறிக்கலாம்.

5. ஒரு துகள் அதன் நடுநிலையைக் (Mean Position) கடக்கும் போது அதன் வேகம் (Velocity) பெரு (Maximum) மதிப்பாகவும் ஓரங்களில் சுழியாகவும் (0) இருக்கும்.

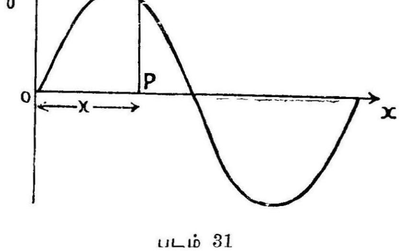
6. ஒரு துகள் அதன் நடுநிலையிலிருக்கும்போது அது பெரும இயக்கத்திலோ அல்லது தளர்ச்சியிலோ இருக்கும். ஆனால், அது ஓர் ஓரத்தில் இருக்கும்போது அதன் ஒரு பக்கம் நெருக்கமும் மற்றொரு பக்கம் தளர்ச்சியும் உடையதாக இருக்கும்.

7. இந்த நெருக்கமும், தளர்ச்சியும் ஊடகத்தில் நகர்ந்து முன்னேக்கிச் செல்லும். இவையே ஆற்றல் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோரிடத்திற்குச் செல்ல உதவுகின்றன.

3·15. முன்னேறும் அலைகளுக்கான சமன்பாடு — சீரியல்வகை (Equation for progressive wave — simple harmonic type)

ஓர் ஊடகத்திலுள்ள ஒரு துகள் சீரியல்பான இயக்கத்தில் அதிரும்போது அது அந்த ஊடகத்தில் ஓர் அலையைத் தோற்றுவிக்கிறது. இதற்குச் சீரியல்பு அலை (Simple Harmonic Wave) எனப் பெயர். இவ்வாறு தோன்றும் சீரியல்பு அலை ஊடகத்தில் தொடர்ந்து முன்னேறிக்கொண்டு செல்லும். ஆகவே, அதை முன்னேறும் தொடர்அலை எனச் சொல்லலாம். அலை செல்லும் ஊடகம் மிக நீண்டதாக இருந்தால் அலை தொடங்கிய இடத்திற்குத் திரும்பி வருவதில்லை.

ஓர் ஊடகத்தில் இடமிருந்து வலமாக முன்னேறும் ஓர் அலையைக் காண்போம். அலையை ஏற்படுத்தும் துகள்கள் சீரியல்பு



படம் 31

இயக்கத்தில் இயங்குகின்றன. அவற்றின் இடப்பெயர்ச்சி படத்தில் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. X திசையில் இடமிருந்து

வலமாக அலை முன்னேறுகிறது. Y திசையில் இடப்பெயர்ச்சியைக் குறிக்கலாம்.

$$y = a \sin \omega t.$$

என்ற சமன்பாடு ஒரு துகளின் ஏதாவது ஒரு நேரம் t-யில் அதன் இடப்பெயர்ச்சியைக் குறிக்கிறது. a என்பது பெரும் இடப் பெயர்ச்சி அல்லது வீச்சு ஆகும்.

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad T\text{—என்பது அலைவு நேரமாகும்.}$$

$$\text{ஆகவே, } y = a \sin \frac{2\pi}{T} . t \qquad \ldots\ldots(1)$$

இந்த இடப்பெயர்ச்சி P என்ற புள்ளியில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். புள்ளி P, தொடக்கப்புள்ளி (Origin) O-விலிருந்து x தொலைவில் இருக்கிறது. அலை v வேகத்தில் விரைந்து கொண் டிருந்தால் O என்ற புள்ளியில் ஏற்படும் எந்தவொரு இடப் பெயர்ச்சியோ அல்லது அதிர்வோ x தொலைவிலுள்ள புள்ளி P-க்கு $\frac{x}{v}$ விஞடி நேரத்திற்குப்பின் வந்து சேரும். ஆகவே, P என்ற புள்ளியில் ஏற்படும் இந்த இடப்பெயர்ச்சி, O என்ற புள்ளியில் $\frac{x}{v}$ விஞடி நேரத்திற்குமுன் ஏற்பட்டிருக்க வேண்டும். அதாவது $\left(t - \frac{x}{v}\right)$ நேரத்தில் O-வில் ஏற்பட்டிருக்க வேண்டும். இதைச் சமன்பாடு (1)ல் பொருத்திஞல்,

$$y = a \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \qquad \ldots\ldots(\text{i})$$

$$= a \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad \because \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{vT} \right)$$

n என்பது அதிர்வு எண்ணையும் (Frequency), λ என்பது அலை நீளத்தையும் குறித்தால்,

$$v = n\lambda = \frac{\lambda}{T}$$

$$vT = \lambda$$

$$\therefore y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \qquad \ldots.(\text{ii})$$

$$= a \sin \frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{\lambda t}{T} - x \right)$$

$$y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x) \qquad \ldots\ldots(\text{iii})$$

சமன்பாடுகள் (i), (ii), (iii) ஆகியவை ஊடகத்தில் உள்ள தொடக்கப் புள்ளியிலிருந்து x தொலைவிலுள்ள ஒரு துகளின் (t-விநாடி நேரத்தில்) அதன் இடப்பெயர்ச்சியைக் குறிக்கிறது. λ, v என்பவை மாறிலிகள். ஆகவே, இவை அலையின் சமன்பாடுகள் ஆகும்.

மேலே சொன்னவை குறுக்கலைகள் நெட்டலைகள் ஆகிய இரண்டிற்கும் பொருந்தும். நெட்டலையில் துகள் இடப்பெயர்ச்சி அலைக்கு இணையாக இருப்பது தவிர வேறு ஒன்றும் மாறுபாடு இல்லை. இதனால் இந்தச் சமன்பாடுகள் இருவகை அலைக்கும் பொருந்தும்

3·16. முன்னேறும் அலைகளின் குணங்கள் (Characteristics of progressive waves)

மேலே சொன்ன விவரங்களிலிருந்தும், சமன்பாடுகளிலிருந்தும் முன்னேறும் அலைகளின் குணங்கள் கீழ்க்கண்டவாறு அமையும்.

1. அலைவிரையும் ஊடகத்தில் உள்ள ஒவ்வொரு துகளும் சம வீச்சுடனும், அலைவு நேரத்துடனும் சீரியல்பில் இயங்கும். a—ம், w—ம் மாறிலிகள்.

2. அலைவிரையும் ஊடகத்தில் துகளுக்குத் துகள் தொடர்ச்சியான கட்டமாறுபாடு (Phase Change) இருக்கும்.

3. எந்த ஒரு கணத்திலும் (Instant) எல்லாத் துகள்களும் குறுக்கலையில் முகடு அகடுகளாக (Crest & Trough) வடிவமமைத்துக் கொள்ளும். இது சைன் வளைகோடு (Sin Curve) போன்றிருக்கும். இதைக் குறுக்கலை அலைவடிவம் (Wave Form) என்கிறோம். நெட்டலையில் துகள்கள் இறுக்கங்கள், தளர்ச்சிகளாக (Compression & Rarefaction) வடிவமமைத்துக் கொள்ளும். இவை அலைவிரையும் நேர்க்கோட்டிலேயே இருக்கும். இதனையும் சைன்வளை கோட்டால் (Sin Curve) குறிக்கலாம். இதில் நடுநிலையிலிருந்து (Mean Position) உள்ள இடப்பெயர்ச்சியை y—குறிக்கும்.

4. அலைவடிவம் எப்போதும் மாறுவதில்லை; அது v வேகத்துடன் முன்னேறுகிறது.

5. குறிப்பிட்ட அலைவடிவம் சம தொலைவுகளில் மீண்டும் மீண்டும் பெறப்படும். இந்தச் சம தொலைவுகள்தான் 'அலைநீளம்' எனப்படும்.

6. ஒரே புள்ளியில் சம இடைநேரங்களில் (Equal Intervals of Time) ஒரே மாதிரியான அலைவடிவம் தோன்றும். இந்த இடைநேரத்தைத்தான் அலைவுநேரம் (Period) எனக்கூறுகிறோம்.

3·17. சீரியல்பு அலையின் வகைக்கெழு சமன்பாடு (Differential equation of simple harmonic wave)

$$y = a \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \text{ என்பது}$$

முன்னேறும் அலையின் சமன்பாடு. v—என்பது அலைவேகத்தைக் (Velocity of Wave) குறிக்கும். $\frac{dy}{dt}$ என்பது துகளின் வேகத்தைக் (Parcticle Velocity) குறிக்கும். $\frac{d^2y}{dt^2}$ என்பது துகளின் முடுக்கத்தைக் குறிக்கும்.

$$\frac{dy}{dt} = a\omega \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -a\omega^2 \sin (\omega) \left(t - \frac{x}{v} \right) \qquad \ldots\ldots \text{(i)}$$

$\frac{dy}{dx}$ —என்பது இடப்பெயர்ச்சி வளைகோட்டின் சரிவைக் குறிக்கிறது (Slope of Displacement Curve).

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{a\omega}{v} \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

$$\frac{\text{துகள் வேகம்}}{\text{அலை வடிவின் சரிவு}} = -v \text{ அலைவேகம் என ஆகும்.}$$

$\frac{d^2y}{dx^2}$ —என்பது அலைவடிவின் வளைவைக் (Curvature of Wave Form) கொடுக்கும்.

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{a\omega^2}{v^2} \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \qquad \ldots\ldots \text{(ii)}$$

சமன்பாடுகள் (i) ஐயும் (ii) ஐயும் ஒப்பிட்டால்

$$\boxed{\frac{d^2y}{dt^2} = v^2 \frac{d^2y}{dx^2}}$$

இது v வேகத்தில் விரையும் அலையின் வகைக்கெழு சமன்பாடு ஆகும்.

3·18. ஒருதள முன்னேறும் அலையின் ஆற்றல் (Energy of plane progressive wave)

அலை இயக்கத்தின் ஆற்றலையும், அது இடத்தோடும் நேரத்தோடும் எவ்வாறு பங்கீடு (Distribution) பெறுகிறது என்பதையும் இங்குப் பொதுவாகக் காண்போம்.

ஒரு முன்னேறும் அலைத் தொடரில், அலை தொடங்குமிடத்திலிருந்து புதிய புதிய அலைகள் தொடர்ந்து உருவாகி வருகின்றன என்பது நமக்குத் தெரியும். அலையின் தொடக்கத்தில் அது இயங்குவதற்குத் தேவையான ஆற்றல், அலையைத் தோற்றுவிக்கும் மூலத்திலிருந்து கிடைக்கிறது. ஒரு வினாடியில் ஒரு அலை 'v' தொலைவு நகருமாதலால், ஒவ்வொரு வினாடியும் தோன்றும் ஆற்றல் ஓட்டம், v நீளத்தில் உள்ள அலைகளின் எண்ணிக்கையையும், ஓர் அலையின் ஆற்றலையும் பெருக்கக் கிடைக்கும். ஒரு அலையின் ஆற்றலில் ஒரு பகுதி இயக்க ஆற்றலாகவும், மற்றொரு பகுதி நிலை ஆற்றலாகவும் இருக்கும். இயக்க ஆற்றலானது அலை விரையும் ஊடகத்திலுள்ள துகள்கள் இயக்கத்திலிருப்பதால் தோன்றுகிறது. ஊடகத்தின் பல்வேறு பகுதிகள் இறுக்கத்திலும், தளர்ச்சியிலும் வெவ்வேறு அழுத்தத்தில் இருப்பதனால் நிலையாற்றல் தோன்றுகிறது. ஊடகத்தில் அலைவிரையும் போது அதிலுள்ள துகள்கள் சீரியல்பு இயக்கத்தில் இயங்குகின்றன. ஆனால், துகள்கள் அவற்றின் இயக்கத்தின் ஓரத்தில் இருக்கும்போது தவிர மற்ற நேரங்களில் இயக்க ஆற்றலைக் கொண்டிருக்கின்றன. இந்த இயக்கஆற்றல் துகள் நடுநிலைப் புள்ளியைக் கடக்கும் போது பெருமதிப்பாக இருக்கும். அலையில் இறுக்கமும், தளர்ச்சியும் தொடர்ந்து அலையுடன் சென்று கொண்டிருப்பதால் அலையின் எல்லா இடங்களிலும் நிலையாற்றல் இருக்கும். இறுக்கம் தளர்ச்சியாக அல்லது தளர்ச்சி இறுக்கமாக மாறும்போது மட்டும் நிலையாற்றல் இருக்காது. மிகவும் இறுகிய அல்லது மிகவும் தளர்ந்த நிலையில் இந்த நிலையாற்றல் பெருமதிப்பாக இருக்கும்.

அலையில் ஆற்றல் பங்கீடு சீராக இருக்காது. ஏனெனில் சில புள்ளிகளில் துகளின் திசைவேகமும், இறுக்கமும் சுழியாக இருக்கும். அப்புள்ளிகளில் ஆற்றலும் சுழியாக இருக்கும். அதே நேரத்தில் இன்னும் சில புள்ளிகளில் வேகமும் தளர்ச்சியும் பெருமதிப்பாக இருக்க, அங்கு ஆற்றலும் பெருமதிப்பாக இருக்கும். எனவே ஆற்றல் பங்கீடு சீராக இருக்க முடியாது.

அலைவிரையும் திசையில் ஊடகம் நகராதிருப்பதால் எப்போதும் ஆற்றல் மட்டும் நகர்ந்து செல்லுகிறது என்பது நினைவிலிருக்க வேண்டும்.

நிலையாற்றலின் சராசரி மதிப்பு, இயக்க ஆற்றலின் சராசரி மதிப்பு ஆகியவற்றைக் கொண்டு, அலைவிரையும் ஊடகத்தின் ஓரலகு பருமனுக்கான மொத்த ஆற்றல் $\frac{1}{2}\rho\left[\frac{2\pi a v}{\lambda}\right]^2$ எனக் காட்டலாம். a - என்பது அலையின் வீச்சையும், ρ - என்பது

ஊடகத்தின் அடர்த்தியையும், λ - அலை நீளத்தையும் குறிக்கின்றன. அலையின் ஆற்றல் (i) வீச்சின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலும் (ii) அலை நீளத்தின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்திலும் இருக்கிறது. எந்த ஒரு கணத்திலும் அலையின் ஆற்றல் ஒருபாதி (One Half) நிலையாற்றலாகவும், மற்றொரு பாதி (Other Half) இயக்க ஆற்றலாகவும் அமைகிறது.

பகுப்பாய்வு முறையில் ஆற்றலைக் காணல்

ஓரலகு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புடைய ஒரு குழலில் விரையும் ஒருதள நெட்டலையை எடுத்துக் கொள்வோம். முதலில் அலைமுகத்திற்குக் குறுக்காக ஓரலகுப் பரப்பில் உள்ள இயக்க ஆற்றலைக் கணக்கிடுவோம். இந்த சீரியல்பு அலையின் சமன்பாடு,

$$y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$$

$\frac{dy}{dt}$ — அதிரும் துகளின் வேகத்தைத் தரும்.

$$u = \frac{dy}{dt} = \frac{2\pi v}{\lambda} a \cos \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$$

ஓரலகு பரப்பும், δx — தடிமனும் உள்ள அடுக்கின் நிறை $\rho\,\delta x$ ஆகும். ρ — ஊடகத்தின் அடர்த்தி ஆகும். எனவே, இந்த அடுக்கின் இயக்க ஆற்றல்,

$$\delta k = \tfrac{1}{2} \cdot \text{நிறை} \times (\text{திசைவேகம்})^2$$

$$= \tfrac{1}{2} \cdot \rho\,\delta x \times \left(\frac{dy}{dt}\right)^2$$

$$= \tfrac{1}{2} \cdot \rho\,\delta x \left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2 \cos^2 \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$$

l நீளமும் ஓரலகுப் பரப்புமுடைய ஒரு முழு அலையின் சராசரி ஆற்றல்,

$$k = \tfrac{1}{2}\rho \left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2 \int_0^l \cos^2 \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)\,\delta x.$$

$$\tfrac{1}{4}\rho \left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2 \int_0^l \left[1 + \cos \frac{4\pi}{\lambda}(vt - x)\right].\delta x$$

$\int_0^l \cos \frac{4\pi}{\lambda}(vt - x)\,\delta x$ — ன் மதிப்பு சுழியாகும்.

ஆகவே, ஓரலகு பரப்பு, ஓரலகு நீளத்திற்கான சராசரி ஆற்றல்,

$$\boxed{K = \frac{1}{4}\ \rho \left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2}$$

இப்போது அலையின் நிலை ஆற்றலுக்கான கோவையைப் பெறுவோம். ஓரலகு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பும் δx–தடிமனும் உடைய அடுக்கின் (Layer), நிலையாற்றல்

$\delta P =$ இறுக்கத்தின் போது ஓரலகு பருமனுக்கு செய்யப் படும் வேலை $\times$ அடுக்கின் பருமன்.

$= \frac{1}{2}$ தகைவு $\times$ திரிபு $\times$ அடுக்கின் பருமன்

$= \frac{1}{2} \times E.\ \frac{dy}{dx} \times \frac{dy}{dx}\,\delta x$ [$\because$ தகைவு = மீட்சிகுணகம் $\times$ திரிபு]

$= \frac{1}{2} \times \rho\, v^2\, \delta x \left(\frac{dy}{dx}\right)^2$ $\left[\because v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \therefore E = \rho\, v^2\right]$

ஆனால் $\frac{dy}{dx} = -\frac{2\pi a}{\lambda}\ \cos \frac{2\pi}{\lambda}\ (v\,t - x).$

$$\therefore \delta P = \tfrac{1}{2}.\rho\, v^2.\delta x.\ \left(\frac{2\pi a}{\lambda}\right)^2.\ \cos^2 \frac{2\pi}{\lambda}\ (vt - x)$$

$$= \tfrac{1}{2}\ \rho\ \delta\ x.\ \left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2\ \cos^2\ \frac{2\pi}{\lambda}(\,vt - x).$$

இது இயக்க ஆற்றலுக்கான கோவையைப் போலவே இருக்கிறது. l-நீளமும் ஓரலகு பரப்பும் உடைய ஒரு முழு அலையின் சராசரி ஆற்றல்,

$$P = \tfrac{1}{2}\,\rho \left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2 \int_0^l \cos^2 \frac{2\pi}{\lambda}\ (\,vt - x).\ \delta x$$

$$= \tfrac{1}{4}\left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2 \int_0^l \left[\ 1 + \cos \frac{4\pi}{\lambda}(\,vt - x)\right] \delta\, x$$

$\int_0^l \cos \frac{4\pi}{\lambda}\ (\,vt-x).\ \delta\, x = O$ ஆதலால், ஓரலகுப் பரப்பு, ஓரலகு நீளத்திற்கான சராசரி நிலையாற்றல்,

$$P = \tfrac{1}{4}\,\rho \left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2 \qquad \ldots\ldots(2)$$

∴ எந்த ஒரு கணத்திலும் அலையின் ஆற்றலில் பாதி (Half) நிலையாற்றலாகவும் மற்ருெரு பாதி (Other Half) இயக்க ஆற்றலாகவும் இருக்கிறது.

அலையின் சராசரி மொத்த ஆற்றல் ஓரலகு பருமனுக்கு,

$$E = K + P = \frac{1}{2}\rho\left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2$$

$\frac{v}{\lambda} = n$ என்று கொள்ள

$$E = \frac{1}{2}\rho\,(2.\pi a n)^2$$

$$\boxed{E = 2\pi^2 a^2 n^2 \rho}$$

இங்கு இந்தக் கோவை ஓரலகு குறுக்குப் பரப்புக்கு, ஓரலகு நீளத்திற்கான மொத்த ஆற்றலைக் குறிப்பதால் ஆற்றல் அடர்த்தி அல்லது ஆற்றல் செறிவு (Energy Density) எனச் சொல்லப்படுகிறது.

முன்னேறும் அலையில், ஒவ்வொரு விளுடியும் v நீளத்திற்கு அலை விரைகிறது. எனவே ஒவ்வொரு விளுடியும் நகரும் ஆற்றல், v நீளத்தில் அலை கொண்டுள்ள ஆற்றலுக்குச் சமம். இது அலை செல்லும் திசையில் ஒரு அலகு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு ஆற்றல் செல்லும் வீதம் ஆகும். இதையே ஆற்றல் ஓட்டம் (Energy-Current) அல்லது ஒலி அலையின் செறிவு (Intensity of Sound-Wave) என்கிருேம்.

ஆற்றல் ஓட்டம்

$$c = E \times v$$

$$\boxed{c = 2\pi^2 a^2 n^2 \rho . v}$$

இது ஊடகத்தின் அடர்த்தி, அலைவேகம் ஆகியவைகளுக்கு நேர் விகிதத்திலும், அதிர்வு எண், வீச்சு ஆகியவற்றின் இருமடிகளுக்கு நேர் விகிதத்திலும் அமைந்திருக்கக் காண்கிருேம்.

இயக்க ஆற்றல், நிலையாற்றல் இரண்டும் x, t ஆகியவற்றைப் பொருத்திருந்தாலும், மொத்த ஆற்றல் E-ம், ஆற்றல் ஓட்டம் C-யும் இவற்றைப் பொருத்து அமையாதிருப்பதைக் காண்க.

எடுத்துக்காட்டுகள்

1. மாரு அதிர்வெண்ணுேடு அதிர்ந்து கொண்டிருக்கும் ஒரு பொருள் A என்ற ஊடகத்தில் 0.18 மீட்டர் நீளமுள்ள அலைகளை யும் B-ஊடகத்தில் 0.24 மீட்டர் நீளமுள்ள அலைகளையும் அனுப்பு கிறது. A-யில் அலையின் வேகம் 90 மீட்டர்/விஞடி ஆனல் B-யில் அதன் வேகம் என்ன ?

$$v = n\lambda$$

A—ஊடகத்தில் $90^{\circ} = n \times 0{\cdot}18$ ......(1)

B—ஊடகத்தில் $v = n \times 0{\cdot}24$ ......(2)

(2) ஐ (1) ஆல் வகுக்க.

$$\frac{v}{90} = \frac{\cdot 24}{\cdot 18}$$

$$v = \frac{\cdot 24}{\cdot 18} \times 90$$

$= 120$ மீட்டர்கள்/விஞடி.

B-யில் அதன் வேகம் விஞடிக்கு 120 மீட்டர்கள்.

2. அலையின் துவக்கப் புள்ளியிலிருந்து (Origin) 3·5 மீட்டர் தொலைவில், $t = 0{\cdot}05$ விஞடியில் அதன் இடப் பெயர்ச்சியைக் கண்டுபிடி : அலையின் வீச்சு ·0002 மீட்டர். அதிர்வு எண் = 500· அலையின் வேகம் = 350 மீட்டர்/விஞடி.

அலையின் சமன்பாடு

$$y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} vt -- x$$

$a = \cdot 0002$ மீட்டர்

$v = 350$ மீட்டர்/விஞடி.

$n = 500$/விஞடி.

அலை நேரம் $\lambda = \frac{v}{n} = \frac{350}{500} = \cdot 7$ மீட்டர்.

$x = 3{\cdot}5$ மீட்டர்.

$t = 0{\cdot}05$ விஞடி.

எனவே இடப் பெயர்ச்சி

$$y = \cdot 0002 \sin \frac{2\pi}{\cdot 7} (350 \times \cdot 05 - 3{\cdot}5)$$

$$= \cdot 0002 \sin \frac{2\pi}{\cdot 7} (14)$$

$$= \cdot 0002 \sin 40\pi$$

$$= 0$$

இடப்பெயர்ச்சி 3·5 மீட்டர் தொலைவில் சுழியாக இருக்கும்.

3. ஒரு சீரியல்பு அலை X அச்சு திசையில் விரைகிறது. அதன் வீச்சு 0·02 மீட்டர், அதிர்வு எண் 75/வினாடி அலைவேகம் 45 மீட்டர்/வினாடி. துவக்கப் புள்ளியிலிருந்து 1·35 மீட்டர் தொலைவிலுள்ள ஒரு துகளின் இடப்பெயர்ச்சி, திசைவேகம், முடுக்கம் ஆகியவற்றை $t = 3$ வினாடியில் கணக்கிடு.

சீரியல்பு அலையின் சமன்பாடு

$$y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$$

$a = 0\cdot 02$ மீட்டர்

$v = 45$ மீட்டர்/வினாடி

$n = 75$/வினாடி

அலைநீளம் $\lambda = \frac{v}{n} = \frac{45}{75}\ 0\cdot 6$ மீட்டர்

$x = 1\cdot 35$ மீட்டர்.

$t = 3$ வினாடி

எனவே, இடப்பெயர்ச்சி

$$y = 0\cdot 02 \sin \frac{2\pi}{0\cdot 6}(45 \times 3 - 1\cdot 35)$$

$$= 0\cdot 02 \sin \frac{2\pi}{0\cdot 6}(135 - 1\cdot 35)$$

$$= 0\cdot 02 \sin \left(445\pi + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$= -0\cdot 002 \text{ மீட்டர்.}$$

1·35 மீட்டர் தொலைவில் இடப்பெயர்ச்சி = 0·02 மீட்டர்

துகள் வேகம் $\frac{dy}{dt} = \frac{2\pi a v}{\lambda} \cos \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x).$

மேலே கண்டபடி,

$$\sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) = -1$$

$$\therefore \quad \cos \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) = 0.$$

எனவே துகள் வேகம் (= 0) சுழியாக இருக்கும்.

துகளின் முடுக்கம்.

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -\frac{4\pi^2.v^2}{\lambda^2} a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x).$$

$$= -\frac{4\pi^2 v^2}{\lambda^2} . y$$

$$= -\frac{4\pi^2 (45)^2}{\cdot 6^2} (-0\cdot 02)$$

$$= 4400 \text{ மீட்டர்/விநாடி}^2.$$

துகளின் முடுக்கம் = 4400 மீட்டர்/விநாடி^{2}.

4. 256 அதிர்வெண்ணுடைய ஒரு இசைக்கவை 0·005 மீட்டர் வீச்சுடைய அலையை எழுப்புகிறது. அலையின் வேகம் 340 மீட்டர்/விநாடி ஆனால் ஆற்றல் ஓட்டத்தை (Energy Current) கணக்கிடு. காற்றின் அடர்த்தி = 0·00 129 கி.கிராம்/லிட்டர்.

$$\text{ஆற்றல் ஓட்டம்} = \tfrac{1}{2} \rho \left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2 \times v$$

$$= \tfrac{1}{2} \rho \left(\frac{2\pi a}{T}\right)^2 v$$

$$= \tfrac{1}{2} \rho (2\pi n a)^2 v$$

$$= \tfrac{1}{2} \times 0\cdot 00\ 129\ [2\pi \times 256 \times \cdot 005]^2 \times 340$$

$$= \cdot 0156\ 234 \text{ ஜூல்/விநாடி}.$$

5. ஒரு சீரியல்பு அலையின் வீச்சு 0·05 மீட்டர் ஆகும். அலையின் வேகம் விநாடிக்கு 0·4 மீட்டர்கள். அதிர்வு எண் விநாடிக்கு 60. நேரம் $t = 2$ விநாடியாகும் போது $x = 0\cdot 4$ மீட்டர் தொலைவில் இருந்தால் துகளின் இடப்பெயர்ச்சி, திசை வேகம், முடுக்கம், ஆகியவற்றைக் கணக்கிடு,

$a = 0\cdot 05$ மீட்டர் $v = 0\cdot 4$ மீட்டர்/விநாடி

$n = 60$ அலைவுகள்/விநாடி

$$\lambda = \frac{v}{n} = \frac{\cdot 4}{60} = \frac{\cdot 02}{3}$$

$x = \cdot 4$ மீட்டர் $t = 2$ விநாடிகள்

எனவே $y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (v t - x)$.

$$= 0{\cdot}05 \sin \frac{2\pi}{\cdot 02/3} (4 \times \cdot 2 - \cdot 4)$$

$$= 0.05 \sin \frac{6\pi}{\cdot 02} (\cdot 8 - \cdot 4)$$

$$= 0\ 05 \sin 100 \times 3{\cdot}\pi (\cdot 4)$$

$$= 0{\cdot}05 \sin 120\ \pi$$

$$= 0.$$

திசை வேகம். $\frac{dy}{dt} = \frac{2\pi v}{\lambda} \quad a \cos \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x)$

$$= \frac{2\pi \times 4}{\cdot 02/3} \cdot (\cdot 05) \cos \frac{2\pi}{\cdot 02/3} (\cdot 8 - \cdot 4)$$

$= 6\pi$ மீட்டர்/விநாடி.

முடுக்கம். $\frac{d^2 y}{d t^2} = - \frac{4\pi^2 v^2}{\lambda^2} a \sin 2 \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x)$

$$= \frac{4\pi^2 (\cdot 4)^2}{(\cdot 02/3)^2} (\cdot 05) \sin \frac{2\pi}{\cdot 02/3} (\cdot 8 - \cdot 4)$$

$$= 0.$$

வினாக்கள்

1. நெட்டலை இயக்கம், குறுக்கலை இயக்கம், இவற்றிடையே உள்ள வேறுபாட்டை விளக்கி எழுது. இதில் எந்த அலை இயக்கம் ஒரு வாயுவில் தோன்ற முடியாது? காரணம் கூறு.

2. அலை இயக்கத்திற்கும் அதிர்வுக்கும் உள்ள வேறுபாடு என்ன? ஒரு அலையின் அதிர்வு எண்ணுக்கும், அலைவு வேகத்துக்கும் உள்ள தொடர்பு என்ன?

3. காற்றில் நெட்டலைகள் எவ்வாறு தோன்றுகின்றன என்று விளக்கி எழுது. இதை செய்முறையில் விளக்க ஒரு பரிசோதனையை விவரி.

4. ஒரு ஒலி அலையில் துகளின் இடப்பெயர்ச்சிக்கு ஒரு பொதுக் கோவையைக் காண்.

5. ஒரு குறுக்கலையை ஒரு வளைகோட்டால் குறிக்கலாம் எனக் காண்பி. வளைகோட்டில் இருந்து துகள் வேகத்தை எப்படி கணக்கிடுவாய்?

6. அலை இயக்கத்தின் பொது சமன்பாடு

$y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$ என்பதைத் தருவி. இதிலிருந்து துகள் வேகம் = அலைவேகம் × வளைகோட்டின் சரிவு என்று நிரூபி.

7. நெட்டலைகளின் குணங்களைக் கூறு.

8. ஒரு முன்னேறும் அலையில் ஆற்றல் பரவியிருப்பதைப் பற்றி ஒரு விளக்கம் கொடு. ஆற்றலில் பகுதி இயக்க ஆற்றலாகவும் பகுதி நிலை ஆற்றலாகவும் இருக்கும் எனக் காண்பி.

9. ஒலி அலையில் அதிரும் துகளின் இடப்பெயர்ச்சிக்கு ஒரு கோவையைக் காண். இடப்பெயர்ச்சி, திசைவேகம், முடுக்கம் ஆகியவற்றின் வளைகோட்டை வரைந்து அவற்றிடையே கட்ட வேறுபாடுகளை விளக்கி எழுது.

4. கம்பியின் குறுக்கலை அதிர்வுகள்

(Transverse Vibration of Strings)

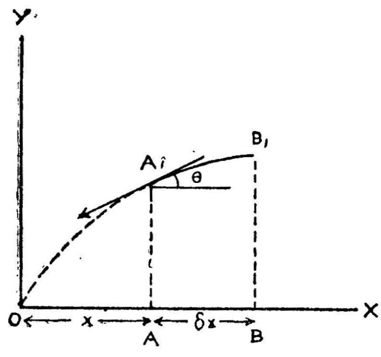
4·1. அதிரும் கம்பி அல்லது நாண்

இங்கு நாண் என்பது ஒரு மெல்லிய நூல் அல்லது குறைந்த விட்டமுடைய ஒரு நீண்ட உலோகக் கம்பியைக் குறிக்கும். இது சீராகவும், நன்றாக வளையக் கூடியதுமாக (Flexible) இருத்தல் வேண்டும். இதன் முனைகள் இரு நிலையான புள்ளிகளுக்கிடையே இழுத்துக் கட்டப்பட்டு ஒரு இழுவிசைக்கு (Tension) உட்படுத்தப் பட்டிருக்கும். இந்தக் கம்பியை அதன் நீளத்திற்குச் செங்குத்தாக இழுத்து விட்டால் கம்பியின் ஒவ்வொரு பகுதியும் அதன் நீளத்திற்குச் செங்குத்தான திசையில் முன்னும் பின்னுமாக அதிரும். சில குறிப்பிட்ட நிலைகளில் இது ஒரு இசை ஒலியை எழுப்பும். இங்கு கம்பி நிலையில் இருக்கும்போது அதன்மீது செயல்படும் இழுவிசைதான் கம்பி அதிர்வதற்கு தேவையான மீட்சி விசையை (Restoring Force) தருகிறது. கம்பியின் குறுக்கலை அதிர்வுகள் இசைச்சுரங்களை எழுப்புவதால் இது இசையில் ஒரு முதன்மையான இடத்தை வகிக்கிறது. கித்தார் (Guitar), வயலின், பியானோ, ஆகியவை கம்பிக் கருவிகள் அல்லது நரம்புக் கருவிகள் (Stringed Instruments) எனப்படும். கருவிகளை அதிர வைப்பதில் மூவகை உண்டு. (1) மீட்டுதல் (Plucked), (2) வில் அதிர்வித்தல் (Bowed), (3) தட்டி மீட்டல் (Struck) இம்மூன்று வகைகளிலும் அதிர வைக்கப்படும் கம்பிகளைக் கொண்ட பல இசைக்கருவிகள் உள்ளன.

4·2. கம்பியில் குறுக்கலையின் திசைவேகம்

சீரான குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புடைய ஒரு நீளமான *MN* என்ற கம்பியை எடுத்துக் கொள்வோம் (படம் 32). இது இரு ஆணிகளுக்கிடையில் இழுத்துக் கட்டப்பட்டிருக்கிறது. கம்பியின்

இழுவிசை (Tension) T எனக் கொள்வோம். m என்பது ஓர் அலகு நீளத்திற்கான கம்பியின் நிறை. கம்பி கிடைத்தளத்தில் இருக்கட்டும். கம்பியின் நீளத்தில் X—அச்சு இருப்பதாகக் கொள்வோம். கம்பி அதன் நீளத்திற்குச் செங்குத்து திசையில் சிறிது இழுத்து விடப்பட்டால் (Plucked) அது அதிரத்தொடங்கும். இடப்பெயர்ச்சி அடைந்த நிலையில் கம்பி படத்தில் காட்டி உள்ளதுபோல் இருக்கும். அது வளைந்து வளைகோடு போல் இருக்கும்.



படம் 32

(i) கம்பியின் இடப்பெயர்ச்சி மிகச் சிறிய தாகையால் வளைந்த நிலையிலும் அதன் நீளம் மாறுவதில்லை.

(ii) கம்பியின் இழுவிசை சீராக உள்ள இடங்களில் சமமாக இருக்கும்.

AB என்பது கம்பியில் dx நீளமுடைய ஒரு பகுதி. அது தொடக்கப் புள்ளியிலிருந்து x தொலைவில் உள்ளது. கம்பி அதிரும் நிலையில் அதாவது ஒரு கணத்தில் (at any instant) AB என்ற பகுதி A_1B_1 நிலையை அடைகிறது (படம் 32). y என்பது Y திசையில் அதன் இடப்பெயர்ச்சி ஆகும். இடப்பெயர்ச்சி மிகச் சிறியது. ஆகையால் A_1B_1-ன் நீளம் AB-க்கு சமம் எனக் கொள்ளலாம். கம்பி நல்ல மீள்தன்மை உடையதாகையால் இழுவிசை கம்பியின் எல்லாப் பகுதிகளிலும் சமமாக இருக்கும் எனக் கொண்டுள்ளோம். ஆனால் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் அது தொடு கோட்டுத் திசையில் (Tangential Direction) செயல்படும்.

A_1 என்ற புள்ளியில் உள்ள தொடுகோடு OX அச்சுக்கு θ கோணத்தில் இருந்தால், அந்தப் புள்ளியில் இழுவிசையின் கீழ் நோக்கிய கூறு (Component)

$$= T \sin \theta$$
$$= T \tan \theta$$

θ சிறியதாக இருந்தால் $\sin \theta = \theta = \tan \theta$ எனக் கொள்ளலாம்.

$\tan \theta$ என்பது A_1B_1 வளைவின் சரிவைக் (Slope) குறிக்குமாகையால்,

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx}$$

ஆகவே கீழ்நோக்கிய இழுவிசையின் கூறு

$$T.\frac{dy}{dx}$$

இதேபோல் B_1 என்ற புள்ளியில் மேல் நோக்கிச் செயல்படும் இழுவிசையின் கூறு

$$T.\frac{d}{dx}\left[y+\frac{dy}{dx}\delta x\right]$$

$\left(\frac{dy}{dx}\right.$ என்பது x ஐப்பொறுத்து இடப்பெயர்ச்சி y மாறும் **வீதம்** ஆகும்)

A_1B_1-ல் செயல்படும் தொகுப்பு இழுவிசை =

B_1-ல் மேல் நோக்கிய விசை — A_1-ல் கீழ்நோக்கிய விசை

$$T.\frac{d}{dx}\left[y+\frac{dy}{dx}\delta x\right]-T.\frac{dy}{dx}$$

$$=T.\frac{d^2y}{dx^2}.\delta x+T\cdot\frac{dy}{dx}-T.\frac{dy}{dx}$$

$$=T.\frac{d^2y}{d^2x}\cdot\delta x \qquad \text{......(1)}$$

ஓர் அலகு நீளத்தின் நிறை m ஆனால், A_1B_1ன் நிறை $= m\cdot\delta x$. நியூட்டனின் இரண்டாவது விதிப்படி A_1B_1ல் செயல்படும் விசை

$= $ நிறை $\times$ முடுக்கம் $= m\cdot\delta x \times \frac{d^2y}{dt^2}$ .... (2)

$\frac{d^2y}{dt^2}$ என்பது அந்தக்கணத்தில் முடுக்கத்தைக் குறிக்கும்.

ஆகவே,

$$m.\,\delta x\times\frac{d^2y}{dt^2}=T.\frac{d^2y}{dx^2}\cdot\delta x$$

$$\boxed{\frac{d^2y}{dt}=\frac{T}{m}\cdot\frac{d^2y}{dx^2}}$$

இதை $\frac{d^2y}{dt^2}=v^2\frac{d^2y}{dx^2}$ என்ற சமன்பாட்டோடு ஒப்பிட்டால்

$$v^2=T/m$$

$$\boxed{v=\sqrt{T/m}}$$

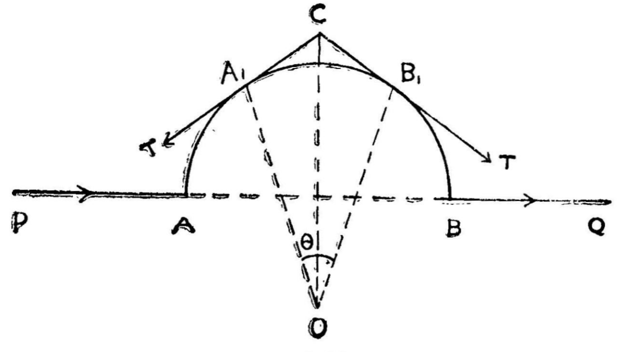
இது கம்பியில் விரையும் குறுக்கலையின் (Transverse Wave) திசை வேகத்தைக் குறிக்கிறது.

T—நியூட்டன்களிலும், m—கிலோகிராமிலும் இருந்தால் v மீட்டர்/வினாடியில் இருக்கும்.

4·3. டெய்டின் கயிற்று முறை (Tait's rope Method)

இழுத்து வைக்கப்பட்டுள்ள கம்பியில் குற்றலையின் திசை வேகத்திற்காக ஒரு கோவை (Expression) காண இது மற்றொரு முறை ஆகும். இது டெய்ட் (Tait) என்பவரால் கண்டுபிடிக்கப் பட்டது.

$PABQ$ (படம் 33) என்பது நன்றாக வளையக் கூடிய மெல்லிய சீரான ஒரு கம்பி. ஒரு ஒலி அலை v என்ற திசை வேகத்துடன் இடமிருந்து வலமாகக் கம்பியில் விரையட்டும். அதே நேரத்தில் எதிர்த் திசையில் அதே வேகத்துடன் கம்பி நகருவதாக எண்ணுவோம். அப்போது அலை வடிவம் (Wave Form) மாறாமல் நிலைத்து நிற்கும். ஆனால் ஊடகத்தின் (—கம்பியின்—) துகள்கள் வளைகோட்டைச் சுற்றி இயங்கும்.



படம் 33

AB என்ற ஒரு பகுதியை நாம் காண்போம். இது இடப் பெயர்ச்சி அடைந்த நிலையில் $A_1 B_1$ ஆக இருக்கும். இதன் நீளம் δx.

A_1B_1 ஒரு வட்டத்தின் பகுதியாக அமைவதால் (Arc) அது ஒரு வட்டப் பாதையில் இயங்கும். அப்போது ஒரு மையம் நோக்கு விசை (Centripetal Force) CO வழியே அதன்மீது செயல்படும். இந்த மையம்நோக்கு விசை இழுவிசையின் மேல்நோக்கிய கூறுக்கு (Upward Component) சமமாக இருப்பதால் கம்பி சமநிலையில் (Equilibrium Position) இருக்கிறது.

A_1B_1 பகுதியின் நிறை $= m\,\delta x$

(m — ஓர் அலகு நீளத்தின் நிறை)

மையம் நோக்கு விசை $= (m\,\delta x) \cdot \dfrac{v^2}{r}$

இழுவிசையின் மேல்நோக்கிய செங்குத்து கூறு

(Vertical Component) $= 2T \sin \dfrac{\theta}{2}$

எனவே

$$m\,dx\,\frac{v^2}{r} = 2T \sin \frac{\theta}{2}$$

$$m \cdot \delta x\,\frac{v^2}{r} = 2T\,\frac{\theta}{2} \quad \left[\begin{array}{l}\theta \text{ சிறியதாக இருந்தால்} \\ \sin\theta = \theta\end{array}\right.$$

$$T\,\theta = m\,\delta x\,\frac{v^2}{r}$$

படத்திலிருந்து

$$\theta = \frac{\delta x}{r}$$

$$\therefore\quad T.\,\frac{\delta x}{r} = m\,\delta x \cdot \frac{v^2}{r}$$

$$T = mv^2$$

$$v^2 = \frac{T}{m}$$

$$v = \sqrt{T/m}$$

குறுக்கலையின் வேகம் கம்பியின் இழு விசையையும், ஓரலகு நீளத்தின் நிறையையும் பொறுத்து அமையும்.

4·4. கம்பியின் அதிர்வு எண்

இரு முனைகளிலும் இறுக்கிக் கட்டப்பட்ட ஒரு கம்பியை எடுத்துக் கொள்வோம். அதன் நீளத்திற்குக் குறுக்காக அதன் நடுப் பகுதியைச் சிறிது இழுத்து விட்டால் அப்புள்ளியிலிருந்து இரு பக்கங்களிலும் இரண்டு துடிப்புகள் (Humps) நகர்ந்து செல்லும். கம்பியின் முனை பொருத்தப்பட்டுள்ள இடத்திற்குத் துடிப்பு வந்து சேர்ந்தவுடன் அந்த முனையை அது நகர்த்த முடியாததால் உடனே அது திரும்பிவிடும். கம்பி வழியே துடிப்பு திருப்பி அனுப்பப்படுகிறது. இது எதிர்த்திசையில் நகர்ந்து சென்று

அடுத்த முனையை அடையும். அடுத்த முனையிலும் முன்புபோல் திருப்பப்பட்டு, துடிப்பு துவங்கிய இடத்திற்கே வந்து சேரும். இப்போது துடிப்பு கம்பியின் நீளத்தைப் போல் இருமடங்கு தொலைவு நகர்ந்திருக்கிறது. இந்த நேர இடைவெளியில் துடிப்பு தொடங்கிய புள்ளி ஒரு முழு அதிர்வை முடித்திருந்தால், அந்தப் புள்ளியில் துடிப்பைத் தோற்றுவித்த விசையும், திருப்பப்பட்ட அலையும் ஒரே கட்டத்தில் (Same Phase) இருக்கும். துடிப்பைத் தோற்றுவிக்கும் விசை தொடர்ந்து சீரியல்பாகச் செயல்பட்டால் கம்பியில் இந்த அலையும், அதிர்வுகளும் தொடர்ந்து இருக்கும். உராய்வு போன்ற வீணடிக்கும் விசைகள் (Dissipative Forces) ஆற்றலை இழக்கச் செய்து கம்பியை நிலைக்குக் கொண்டு வரும் வரை இந்த அதிர்வுகள் அதில் இருக்கும். எனவே ஓர் அலைவு நேரத்தில் அலை நகரும் தொலைவு கம்பியின் நீளத்தைப்போல் இரு மடங்காகும். l என்பது கம்பியின் நீளமானல்,

$$\lambda = 2\,l$$

$$v = n\,\lambda$$

$$\therefore \quad n = v/\lambda = \frac{v}{2\,l}$$

ஆனல் $v = \sqrt{T/m}$.

$$\therefore \quad \boxed{n = \frac{1}{2\,l}\sqrt{T/m}}$$

இது மிகக் குறைந்த அதிர்வு நிலையில் (Lowest vibration) கம்பி அதிரும்போது அதன் அதிர் வெண்ணாகும். இப்போது எழும் ஒலிச் சுரத்திற்கு அடிப்படைச் சுரம் (Fundamental Note) எனப் பெயர்.

மேற் கண்ட சமன்பாட்டை நிலையான அலைகள் தோன்றும் முறையின் அடிப்படையிலும் பெறலாம்.

4·5. நிலையான அலை முறை

ஒரு கம்பி இரு பொருத்திகளில் இணைக்கப்பட்டு இழுத்து வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. கம்பி வழியே ஒரு அலை விரையும்போது அது பொருத்தியில் திருப்பி அனுப்பப்படும். முன்னே சென்ற அலையும், திருப்பி அனுப்பப்பட்டு எதிர்த்து வரும் அலையும் ஒன்றோடொன்று பொருந்தி ஒரு நிலையான அலையைத் தோற்று விக்கும். எனவே, இழுத்துக் கட்டப்பட்ட கம்பியின் அதிர்வுகள் நிலையான குறுக்கலை அதிர்வுகளாக இருக்கும். அதிர்வு நிலையில்

கணுக்களும், எதிர்க்கணுக்களும் (Nodes and anti-nodes) கம்பியில் தோன்றும். கம்பி அடிப்படை நிலையில் அல்லது வகையில் (Fundamental mode) அதிரும்போது அதன் நடுப் பகுதியில் ஒரே ஒரு எதிர்க்கணுவும் பொருத்தியில் இணைந்துள்ள முனைகளில் இரு கணுக்களும் இருக்கும். இவ்வாறு இருக்குமாறு—கம்பி ஒரே வளையமாக அதிருமாறு—கம்பியின் நீளத்தைச் சரி செய்யலாம். கம்பி ஒரு வளையமாக அதிரும்போது (Single Loop) கம்பியின் நீளம், அலை நீளத்தின் பாதிக்குச் சமமாகும். l என்பது கம்பியின் நீளமானால், $l = \frac{\lambda}{2}$

(λ என்பது அலைநீளம். n என்பது அதிர்வு எண்.)

$$v = n\lambda$$

$$\sqrt{T/m} = n\lambda = n\,2l$$

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{T/m}$$

இது கம்பியின் அதிர்வு எண்ணைக் குறிக்கிறது.

4·6. கம்பிகளின் அதிர்வு விதிகள் (Laws of Vibration of Strings)

முதன் முதலாக 1636ம் ஆண்டு பாரிஸில் மாரின் மர்ஸீன் Marin Marsenne) என்பவர் அதிரும் கம்பிகளுக்கான விதிகளைக் கண்டறிந்தார். அவற்றை கீழ்க்கண்டவாறு சொல்லலாம்.

முதல் விதி

கம்பியின் இழுவிசையும், ஓரலகு நீளத்திற்கான நிறையும் மாறாதிருக்கும்போது கம்பியின் மூல அதிர்வு எண் அதன் அதிர்வு நீளத்திற்கு எதிர்விகிதத்தில் இருக்கும்.

$$n \propto \frac{1}{l}$$

இரண்டாவது விதி

கம்பியின் அதிர்வு நீளமும், ஓரலகு நீளத்திற்கான நிறையும் மாறாதிருக்கும்போது கம்பியின் மூல அதிர்வு எண் அதன் இழுவிசையின் வர்க்க மூலத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

$$n \propto \sqrt{T}$$

மூன்றாவது விதி

கம்பியின் அதிர்வு நீளமும், அதன் இழுவிசையும் மாறாதிருக்கும்போது கம்பியின் மூல அதிர்வு எண் அதன் ஓரலகு நீளத்திற்கான நிறையின் வர்க்க மூலத்திற்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

$$n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$$

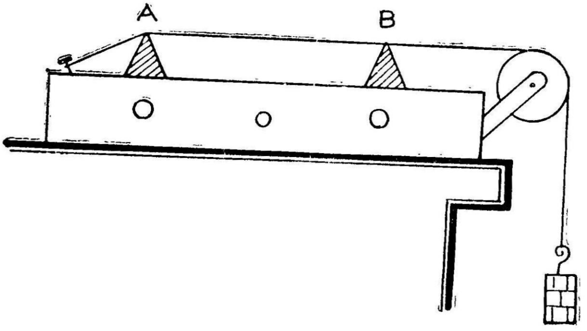
இவை மர்ஸீனுடைய கம்பி அதிர்வு விதிகள் எனப்படும்.

4·7. சோனு மீட்டர்

கம்பியின் குறுக்கலை விதிகளைச் சரிபார்த்தல்.

கம்பியின் அதிர்வு விதிகளை ஒரு சோனு மீட்டரைப் பயன் படுத்திச் சரி பார்க்கலாம்.

சோனு மீட்டரில் (படம் 34) *AB* என்ற ஒரு நீண்ட மெல்லிய உலோகக் கம்பி உள்ளது. இந்தக் கம்பி *A*, *B* என்ற இரு குதிரைகளின் (Bridges) மேல் கிடைத்தளத்தில் செல்லுமாறு பொருத்தப் பட்டிருக்கிறது. கம்பின் ஒரு முனை ஒரு முளையில் கட்டப்பட்டிருக்கிறது. மறுமுனையில் ஒரு கொக்கி பொருத்தப்பட்டு, கம்பி ஒரு எளிதாகச் சுழலும் கப்பியின் வழியே செல்லுமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்த உலோகக் கம்பி கட்டப்பட்டிருக்கும் முளை, கப்பி ஆகியவை ஒரு கூடான மரப்பெட்டி மீது பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. மரப் பெட்டி நீள் சதுர வடிவத்தைக் கொண்டது. இதில் இரண்டு அல்லது மூன்று துளைகள் பெட்டியின் பக்கப் பலகையில் இருக்கும். பெட்டியிலுள்ள காற்றுத் துகள்கள் கம்பியின் அதிர்வோடு சேர்ந்து ஒத்து அதிரக் கூடியவை. எனவே, அது ஒத்திசைவுப் பெட்டி (Resonant Box) எனப்படும்.



படம் 34

A, *B* என்ற குதிரைகள் மரப்பெட்டியின் மேல் கம்பியின் நீளத்தோடு நகரக் கூடியவை. *A*, *B* குதிரைகளுக்கிடையே உள்ள கம்பியின் நீளம் தான் அதிரும். எனவே குதிரைகளை நகர்த்தி, கம்பியின் அதிர்வு நீளத்தை வேண்டிய அளவு மாற்றிக் கொள்ளலாம். கொக்கியில் எடைக்கற்களை மாட்டி கம்பியின் இழுவிசையை வேண்டியவாறு மாற்றி அமைக்கலாம். சோனு மீட்டர் கம்பியின் அதிர்வு விதிகளைச் சரிபார்க்கவும் இசைக்கவையின் அதிர்வு எண்ணைக் கண்டுபிடிக்கவும் பயன்படுகிறது.

முதல் விதியைச் சரிபார்த்தல்

முதல் விதியைச் சரிபார்க்க, படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் சோனு மீட்டரை ஒரு மேஜைமீது வைத்து எடைதாங்கும் கொக்கி அதன் ஒரு பக்கத்தில் கீழே தொங்குமாறு அமைக்கப்படுகிறது. கொக்கியில் எடைக்கற்களை மாட்டி வேண்டிய அளவு பொருத்தமான இழுவிசை கம்பிக்குக் கொடுக்கப்படுகிறது. பின், அதிர்வு எண் தெரிந்த ஒரு இசைக்கவை ரப்பர் சுத்தியின் உதவியால் அதிர்விக்கப்படுகிறது. உடனே இது சோனுமீட்டரின் மேல் வைக்கப்படுகிறது. அதே நேரத்தில் சோனுமீட்டரின் கம்பியும் அதிர்வடையச் செய்யப்படுகிறது. கம்பியின் அதிர்வு நீளம் A, B என்ற குதிரைகளைச் சரிசெய்து மாற்றியமைக்கப்படுகிறது. கம்பியும், இசைக்கவையும் ஒத்ததிரும் (Unison) வரை அதிரும் நீளம் மாற்றப்படுகிறது. இப்போது இரு குதிரைகளுக்கிடையேயுள்ள கம்பியின் நீளம் இசைக்கவையோடு ஒத்ததிருகிறது. இதன் அதிர்வு எண், இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணுக்குச் சமமாகும். இதேபோல் வெவ்வேறு அதிர்வெண்ணுடைய இசைக்கவைகளைப் பயன்படுத்தி ஒவ்வொன்றுக்கும் சரியான கம்பியின் அதிர்வு நீளம் கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது.

அதிர்வு நீளத்தைத் துல்லியமாகக் கண்டுபிடிக்க ஒரு சிறிய காகிதப் பறவை (Paper rider) பயன்படுத்தப்படலாம். அதிரும் கம்பியின் நடுப்பகுதியில் இந்தச் சிறிய காகிதப் பறவை வைக்கப்படுகிறது. கம்பியின் நீளம் மாற்றப்படும்போது அது இசைக்கவையுடன் ஒத்ததிரும் நிலைக்கு வந்து, ஒத்ததிரும்போது இந்தக் காகிதப் பறவை வேகமாகக் கம்பியிலிருந்து தூக்கி எறியப்படும். இந்த நிலையில் கம்பி இசைக்கவையுடன் துல்லியமாக ஒத்ததிர்வதாகக் கொள்ளலாம். n என்பது இசைக்கவையின் மூல அதிர்வெண்ணையும், l என்பது கம்பியின் அதிர்வு நீளத்தையும் குறித்தால், முதல் விதிப்படி $n \propto \frac{1}{l}$

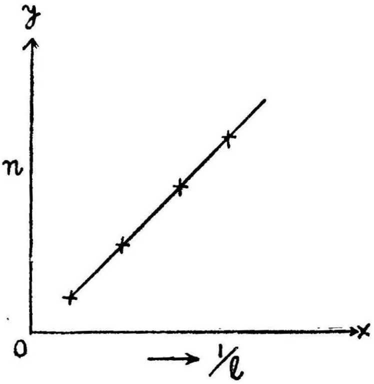
அல்லது $\boxed{nl = \text{ஒரு மாறிலி}}$

ஒவ்வொரு இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணோடு அதற்குச் சரியான கம்பியின் அதிர்வு நீளத்தைப் பெருக்கினுல் பெருக்கல்

தொகை மாறிலியாக வரும். பரிசோதனையில் காணப்படும் அளவீடுகளைக் கீழ்க்கண்ட அட்டவணையில் பதியலாம்.

வரிசை எண்.	இசைக்கவையின் அதிர்வு எண் : n	அதிரும் பகுதியின் நீளம் : l	nl

அதிர்வு எண்ணுக்கும், கம்பியின் அதிர்வு நீளத்தின் தலைகீழ், மதிப்பிற்கும் (Recipiocal Value) ஒரு வரைபடம் வரைந்தால் (படம் 35) அது ஒரு நேர்க்கோடாக இருக்கும் $\frac{1}{l}$ -ஐ X அச்சிலும், அதிர்வு எண்ணை Y அச்சிலும் எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும்.



படம் 35

இது முதல் விதியைச் சரி பார்க்கிறது. இந்த வரைபடத்தையோ, அல்லது அட்டவணையின் இறுதியிலுள்ள மாறிலியின் மதிப்பையோ பயன்படுத்தி அதிர்வு எண் தெரியாத ஓர் இசைக்கவையின் அதிர்வு எண்ணைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

இரண்டாவது விதியைச் சரிபார்த்தல்

இரண்டாவது விதியைச் சரிபார்க்க ஓர் அதிர்வு எண் தெரிந்த இசைக்கவை பயன்படுத்தப்படுகிறது. சோனமீட்டர் கம்பிக்கு ஒரு குறிப்பிட்ட இழுவிசையை அமைத்து, கம்பியின் அதிர்வு நீளம்—இசைக்கவையுடன் ஒத்ததிரும் கம்பியின் நீளம்—மேலே கூறியபடி கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது. பின்பு கம்பியின் இழுவிசை 0·5 கிலோ கிராம் அதிகரிக்கப்படுகிறது. மீண்டும் அதே இசைக்

கவையைப் பயன்படுத்தி, முன்போல் அதிர்வுநீளம் கண்டு பிடிக்கப்படுகிறது. இதேபோல் இழுவிசையை ஒரே சீராக மிகுதிப் படுத்தி ஒவ்வொரு தடவையும் அதிர்வு நீளம் காணப்படுகிறது. இவை கீழே கொடுத்துள்ள அட்டவணையில் பதியப்படுகின்றன.

வரிசை எண்.	இழுவிசை T	அதிரும் பகுதியின் நீளம் l	$\sqrt{\frac{T}{l}}$

அட்டவணையிலிருந்து $\sqrt{\frac{T}{l}}$ ஒரு மாறிலியாக இருப்பதைக் காணலாம். இங்கு அதிர்வு எண் 'n' மாறுதது. எனவே, $\sqrt{\frac{T}{nl}}$ என்பதும் ஒரு மாறிலியே. இதில் அதிர்வு நீளம் l-ம் மாறுமலிருந்தால் $\sqrt{\frac{T}{n}}$ மாறிலியாக இருக்கும்.

$$\sqrt{\frac{T_1}{n_1}} = \sqrt{\frac{T_2}{n_2}} = \sqrt{\frac{T_3}{n_3}} = \text{மாறிலி.}$$

இதிலிருந்து அதிர்வு எண் 'n' இழுவிசையின் வர்க்க மூலத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது எனத் தெரிகிறது. இது இரண்டாவது விதியைச் சரிபார்த்தலாகும்.

மூன்றுவது விதியைச் சரிபார்த்தல்

மூன்றுவது விதியைச் சரிபார்க்க வெவ்வேறு உலோகங்களாலான இரண்டு அல்லது மூன்று கம்பிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. எஃகு, பித்தளை, செம்பு, ஆகியவற்றுலான கம்பிகளைப் பயன்படுத்தலாம். இவற்றின் ஓரலகு நீள நிறை m, மாறுபட்டிருக்க வேண்டும். இந்தக் கம்பிகள் சோனமீட்டரில் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக, சமமான இழுவிசைக்கு உட்ப்படுத்தப் பட்டுப் பொருத்தப்படுகின்றன. அதிர்வு எண் தெரிந்த ஒரு

இசைக்கவைப் பயன்படுத்தப்பட்டு ஒவ்வொரு கம்பியின் அதிர்வு எண்—இசைக்கவையுடன் ஒத்ததிரும் நீளம்—மேலே குறிப்பிட்ட படிக் காணப்படுகிறது.

ஒவ்வொரு கம்பியின் ஒரு குறிப்பிட்ட நீளத்தை (ஒன்று அல்லது இரண்டு மீட்டர்கள்) எடுத்துப் பௌதிகத் தராசில் எடை கண்டுபிடிக்கப் படுகிறது. இதிலிருந்து ஓரலகு நீளத்தின் நிறையைக் கணக்கிடலாம். m_1, m_2, m_3 என்பவை ஓரலகு நீளத்தின் நிறைகளெனக் கொள்வோம். l_1, l_2, l_3 என்பவை முறையே அவற்றின் சரியான அதிர்வு நீளங்களாகும். அதிர்வு நீளத்தையும், ஓரலகு நீள நிறையின் வர்க்க மூலத்தையும் பெருக்க, பெருக்கற் பலன் மாறிலியாக வரும்.

$$l\sqrt{m} = \text{ஒரு மாறிலி.}$$

இங்கு அதிர்வு எண் 'n' மாறுவதில்லை எனவே,

$$nl\sqrt{m} = \text{ஒரு மாறிலி.}$$

l-மாறாமலிருந்தால் $n\sqrt{m}$ ஒரு மாறிலியாக இருக்கும். அதிரும் கம்பியின் அதிர்வு எண் ஓரலகு நீள நிறையின் வர்க்க மூலத்திற்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும். இதுவே மூன்றாவது விதியைச் சரிபார்த்தலாகும்.

4·8. சோனாமீட்டரைக் கொண்டு ஓர் இசைக் கவையின் அதிர்வு எண்ணைப் பரிசோதனை மூலம் கண்டு பிடித்தல்

ஓர் இசைக் கவையின் அதிர்வு எண்ணைச் சோனாமீட்டரைப் பயன்படுத்தி கண்டு பிடிக்கலாம். சோனாமீட்டர் மேஜையின்மீது கிடைத்தளமாக வைக்கப்படுகிறது. அதன் ஒரு புறத்தில் எடை தாங்கும் கொக்கி தொங்கிக் கொண்டிருக்கும். கொக்கியில் எடைகளை மாட்டி, கம்பி ஒரு குறிப்பிட்ட பொருத்தமான இழு விசைக்கு உட்படுத்தப்படுகிறது. இசைக்கவை ஒரு ரப்பர் சுத்தியின் உதவியால் அதிரும்படிச் செய்யப்படுகிறது. இது சோனாமீட்டர் பெட்டியின் மேல் வைக்கப்பட்டு அதே நேரத்தில் சோனாமீட்டர் கம்பி அதன் நீளத்திற்குக் குறுக்காகச் சற்று மேல் நோக்கி இழுக்கப்பட்டு அதிர்வு அடையும்படிச் செய்யப்படுகிறது. இரண்டின் அதிர்வெண்களும் சமமாக இராது. சோனாமீட்டரிலுள்ள குதிரைகளை நகர்த்தி, கம்பியின் அதிரும் பகுதியின் நீளத்தை, (Vibrating Segment) அது இசைக்கவையோடு ஒத்ததிரும் வரை சரிசெய்ய வேண்டும்.

கம்பி இசைக்கவையோடு ஒத்ததிர்வதைச் சிறிய காகிதப் பறவையின் (Paper Rider) உதவி கொண்டு அறியலாம்.

இசைக்கவையுடன் கம்பி ஒத்ததிரும் போது அதன் நடுப் பகுதியில் வைக்கப்பட்ட காகிதப் பறவை கம்பியிலிருந்து தூக்கி எறியப் படும். இப்போது கம்பியின் அதிரும் பகுதியின் நீளம் அளக்கப் படுகிறது. இதன் அதிர்வெண் இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணுக் குச் சமம்.

குறிப்பிட்ட நீளமுடைய சோனுமீட்டர் கம்பியின் நிறை யைப் பௌதிகத் தராசு கொண்டு கண்டு பிடிக்கலாம். இதிலிருந்து கம்பியின் ஓரலகு நீளத்திற்கான நிறையைக் கணக்கிடலாம். l என்பது கம்பியின் அதிர்வு நீளமும், T என்பது இழுவிசையும் m என்பது ஓரலகு நீளத்திற்கான நிறையும் ஆனால் அதிர்வு எண்

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

இந்தச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி இசைக்கவையின் அதிர் வெண் கணக்கிடப்படுகிறது.

இந்த முறையிலுள்ள பிழைகள் (Errors)

1. மேலே கண்ட சமன்பாடு சோனுமீட்டர் கம்பி எளிதாக வளையும் தன்மையுடையது என்ற அடிப்படையில் தருவிக்கப் பட்டது. ஆனால், நடைமுறையில் எல்லாக் கம்பிகளுக்கும் சிறிதளவேனும் வளைவு எதிர்ப்புச் சக்தி (Resistance to bending) உண்டு. சோனுமீட்டர் கம்பி வளைந்த நிலையிலிருந்து தன்னிலைக்கு வர கம்பியின் இழுவிசையுடன் இந்த மீள்விசையும் சேர்ந்து செயல்படும். ஆகவே, கம்பியின் மீட்சிவிசை (Restoring force) மிகுதியாகிறது. ஆனால், கம்பியின் மீட்சிவிசை கொடுக்கப்பட்ட இழுவிசைக்குச் சமம் என்று கொண்டுதான் சமன்பாடு தருவிக்கப் பட்டது. இந்த மீட்சிவிசை மிகுதியால் கம்பியின் அடிப்படைச் சுரம் மற்றும் மேல் சுரங்கள் ஆகியவற்றின் அதிர்வெண் மிகுதியாக இருக்கும். எனவே, சோனுமீட்டரில் காணப்பட்ட அதிர்வெண்கள் சுரஅடுக்காக (Hormonics) அமையாது. இந்த வளைவு எதிர்ப்புச் சக்திக்காக ஒரு திருத்தம் செய்யவேண்டும்.

n_1 என்பது கணக்கிடப்பட்ட அதிர்வெண் ஆனால்,

$$n_1 = n(1 + c)$$

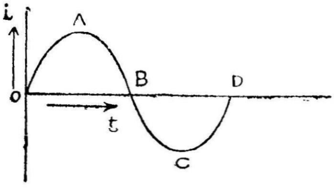
n என்பது வளைவு எதிர்ப்பு சக்தியற்ற நல்ல கம்பியின் அதிர்வு எண். c என்பது பிழைத்திருத்த எண் (Correction factor). இது மிகக் குறைந்த மதிப்புடையது. இந்தத் திருத்தத்தைச் செய்து அதிரும் கம்பியின் மெய்யான அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

2. சோனுமீட்டர் கம்பியில் அதிரும் பகுதியைத் தாங்கி நிற்கும் குதிரைகள் (Bridges) உறுதியாகப் பொருத்தப்பட்டவை யன்று. அவை சிறிது நகரக்கூடியவை. கம்பி அதிரும்போது இவை நகருவதால் கம்பியின் மெய் அதிர்வெண்ணை இது மாற்றிவிடும். இதற்கும் திருத்தம் செய்தல் வேண்டும்.

3. கம்பியின் ஒரு முனையிலுள்ள கப்பி (Pulley) எளிதில் சுழலக்கூடியது எனக் கொண்டுள்ளோம். ஆனால், கப்பி சிறிது சுழற்சி உராய்வு கொண்டிருக்கும். இதனால் கம்பியின் இழுவிசை சற்று குறைய மெய் அதிர்வெண்ணும் சிறிது குறைந்துவிடும்.

4·9. சோனுமீட்டரைப் பயன்படுத்தி மாறுதிசை மின்னோட்டத்தின் அதிர்வு எண்ணைக் காணல் (Frequency of alternating Current) :

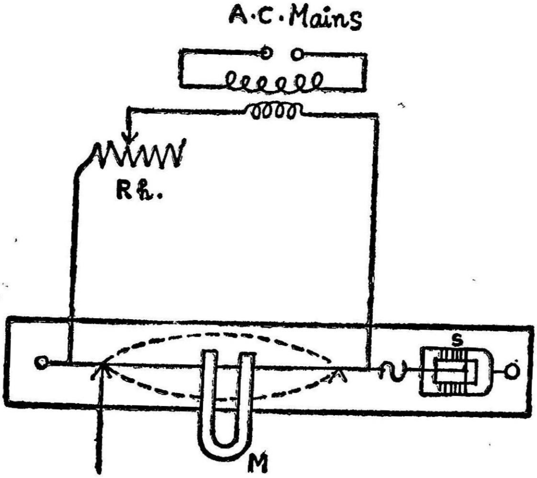
ஒரு மின்சுற்றில் பாயும் மின்னோட்டம் தன்னுடைய திசையை ஒரு குறிப்பிட்ட கால இடைவெளியில் மாற்றிக் கொண்டிருந்தால் அது மாறுதிசை மின்னோட்டம் எனப்படும். அந்த மின்னோட்டத்தின் எண்ணளவு (Magnitude) சுழியிலிருந்து ஒரு பெருமதிப்பு வரை உயரும். பின் அதிலிருந்து சுழிக்கு இறங்கி மீண்டும் எதிர் திசையில் பெருமதிப்பை அடைந்து, பின் சுழிக்குத் திரும்பும். இந்த மாறுபாடுகள் வரைபடத்தில் வரையப்பட்டால் அது ஒரு சீரியல்பு வரைகோடாக இருக்கும். பக்கத்தில் உள்ள படம் (படம் 36) இத்தகைய மாறுதிசை மின்னோட்டத்தின் ஒரு சுற்றைக் காட்டுகிறது. ஒரு விநாடியில் தோன்றும் மொத்த மாற்றங்கள் அல்லது இத்தகைய சுற்றுகள் மின்னோட்டத்தின் அதிர்வெண் எனப்படும். பொதுவாக நாம் பயன்படுத்தும் மின்னோட்டத்தின் அதிர்வெண் (விநாடிக்கு) 50 ஆகும்.



படம் 36

இந்த அதிர்வெண்ணைக் கண்டு பிடிக்கச்சிறிது மாற்றப்பட்ட ஒரு சோனுமீட்டரைப் பயன்படுத்தலாம். இதில் (படம் 37) கம்பியின் ஒரு முனையில் ஒரு வில் தராசும், மறுமுனையில் ஒரு சுற்றக் கூடிய (Rotating Peg) முளையும் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இதனால் கம்பியின் இழுவிசையை எளிதாக மாற்றலாம். மாறுதிசை மின்னோட்டம் ஒரு இறக்கு மின்மாற்றியின் (Step down Transformer) முதன்மை சுற்றுகளுடன் இணைக்கப்படுகிறது. அதன் துணைச்சுற்றின் இருமுனைகளும் சோனுமீட்டர் கம்பியின் இருமுனைகளுடன் இணைக்கப்படுகின்றன. சோனுமீட்டர் கம்பிவழியே குறைந்த அளவு மின்னோட்டம் செல்லுமாறு சரியிட, கம்பிக்குத்

தொடராக ஒரு மின்தடை மாற்றி (Rheostat) இணைக்கப்படுகிறது. சோனாமீட்டர் கம்பியின் நடுப்பகுதி ஒரு லாடகாந்தத்தின் இருமுனைகளுக்கு (Poles) இடையே இருக்குமாறு அமைக்கப்படுகிறது. கம்பி லாடகாந்தத்தின் முனைகளுக்கு இடையேயுள்ள காந்தப்புலத்திற்குச் செங்குத்துத் திசையில் இருக்கவேண்டும். கம்பியில் ஓடும் மின்னோட்டம் காந்தப்புலத் திசைக்குச் செங்குத்தாக இருத்தல் வேண்டும். இப்படி இருந்தால்தான் ஃபிளமிங்கின் இடக்கை விதிப்படி (Fleming's left hand rule) கம்பியின்மீது ஒரு விசை செயல்படும்.



படம் 37

கம்பியில் மின்னோட்டம் இருக்கும்படிச் செய்யப்படுகிறது. கம்பி காந்தப்புலத்தில் இருப்பதால் ஒருவித விசையைப் பெறும். மின்னோட்டம் மாறுதிசை மின்னோட்டமாக இருப்பதால் இந்த விசையும் திசை மாறிக்கொண்டேயிருக்கும். எனவே, கம்பி அங்கும், இங்குமாக நகர்ந்து அதிரத் தொடங்கும். சுற்றும் முளை சரி செய்யப்பட்டுக் கம்பியின் இழுவிசை மாற்றப்படுகிறது. இதனால் கம்பியின் அதிர்வெண் மாறும். கம்பியின் அதிர்வும், மின்னோட்டத்தின் அதிர்வும் சமமாகும்போது ஒத்ததிர்வு ஏற்படும். இப்போது, (கம்பி ஒத்ததிர்வில் இருக்கும்போது) அது ஒரு வளையமாக, விரைவாக அதிர்வதைக் காணலாம். கம்பியில் அதிரும் பகுதியின் நீளம் அளக்கப்படுகிறது.

மாறுதிசை மின்னோட்டத்தின் அதிர்வெண்ணை,

$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ என்ற சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்திக்

கணக்கிடலாம். l என்பது அதிரும் பகுதியின் நீளம் (Length of loop), T என்பது கம்பியின் இழுவிசை, m என்பது ஓரலகு நீளத்திற்கான கம்பியின் நிறை.

4·10. அதிரும் கம்பியின் அடுக்குச்சுரங்கள் அல்லது மேல்சுரங்கள் (Harmonics or Overtones)

A, B என்ற இரு முளைகளுக்கிடையே இழுத்துக் கட்டப்பட்ட ஒரு கம்பியை எடுத்துக் கொள்வோம். இதன் நடுப்பகுதியைக் கம்பிக்குக் குறுக்காகச் சற்று மேலே இழுத்துவிட்டால் கம்பி நிலையான குறுக்கலை வகையில் அதிரும். P என்ற புள்ளியில் கம்பி மேல்நோக்கி இழுத்து விடப்படுவதாகக் கொள்வோம். இப்போது ஒரு குறுக்கலை P-யிலிருந்து PA திசைவிலும். மற்றொன்று PB திசையிலும் விரையும். அவை கம்பி பொருத்தப்பட்டுள்ள A,B என்ற முளைகளை அடையும்போது எதிரொளிக்கப்பட்டுத் (Reflected) திரும்பி எதிர்த்திசைகளில் விரைகின்றன. முன்னேறும் அலையும், திரும்பும் அலையும் தொடங்கிய புள்ளிக்கு ஒரே நேரத்தில் வந்துசேரும். ஏனெனில், அவை ஒரே கட்டத்திலிருப்பவை. எனவே, அவை ஒன்றோடொன்று பொருந்தி ஒரு நிலையான அலையைத் தோற்றுவிக்கும். இந்த நிலையான அலை, கம்பி ஒய்வு பெறும்வரை அதிலிருக்கும். இதுபோல் நிலையான அலை இயக்கம் தோன்ற கம்பியின் இருபங்கு நீளத்தில் அலை விரைய எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் அலைவு நேரத்தின் முழு எண் பெருக்கலாக (Integral multiples of period) இருக்கவேண்டும்.

$$\frac{2l}{v} = PT$$

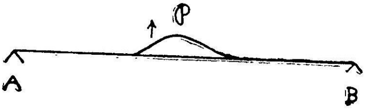
l என்பது கம்பியின் நீளம். v என்பது அலையின் வேகம். T என்பது அலைவுநேரம். P என்பது ஒரு முழுஎண் ($P = 1, 2, 3 \ldots\ldots$)

ஆனல், $vT = \lambda$

எனவே, $2l = \lambda P$

$$\lambda = \frac{2l}{p}$$

இது l நீளமுடைய கம்பியில் தோன்றக்கூடிய அலையின் நீளத்தைக் குறிக்கும். n என்பது கம்பியின் அதிர்வெண் ஆனல்



படம் 38

$$v = n\lambda$$

$$\sqrt{T/m} = n\lambda$$

$$\therefore n = \frac{1}{\lambda}\sqrt{T/m}$$

$\lambda = \frac{2l}{P}$ எனக் கொண்டால்

$$n = \frac{P}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}.$$

P-யின் ஒவ்வொரு மதிப்பிற்கும் ஒரு அதிர்வெண் கிடைக்கும். ஆகவே, குறிப்பிட்ட நீளமுடைய ஒரு கம்பி ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட அதிர்வு எண்களோடு அதிரமுடியும் எனத்தெரிகிறது.

(*a*) $P = 1$ ஆனல்.

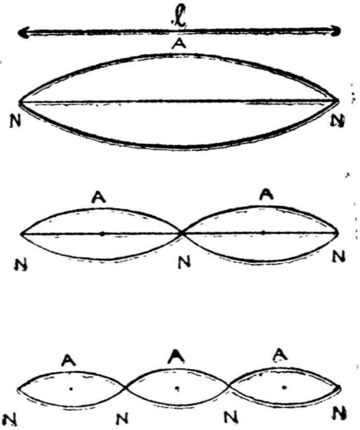
$$\lambda = \frac{2l}{P} = 2l$$

இங்கு, கம்பியின் முனைகளில் கணுவும், நடுப்பகுதியில் எதிர்க் கணுவும் கொண்ட ஒரே பகுதியாக அல்லது ஒரே வளையமாகக் (One Segment or one loop) கம்பி அதிரும். கம்பியில் தோன்றும் இசைச்சுரம் அடிப்படைச்சுரம் (Fundamental Note) எனப்படும். அதன் அதிர்வுஎண்

$$n_1 = \frac{1}{2l}\sqrt{T/m}.$$

(*b*) $P = 2$ ஆனல்,

$$\lambda = \frac{2l}{2}$$



படம் 38(a)

கம்பி இப்போது இரு பகுதிகளாக (Two Segments) அதிரும். இதில் மூன்று கணுக்களும் இரண்டு எதிர்க் கணுக்களும் இருக்கும். இப்போது கம்பி அதிர்வால் தோன்றும் இசை-ஒலி, சுருதி மிகுந்தது. இதுமுதல் மேல்சுரம் (First Overtone) எனப் படும். இதன் அதிர்வுஎண்,

$$n_2 = \frac{2}{2l}\sqrt{T/m}. = 2n_1$$

மூலச்சுரத்தின் இருமடங்கு,

(*c*) $P = 3$ ஆனல்,

$$\lambda = \frac{3l}{2}$$

கம்பி இப்போது மூன்று பகுதிகளாக அதிரும். கம்பியில் தோன்றும் இசையொலி இரண்டாவது மேல்சுரம் (Second

Overtone). இதன் அதிர்வுஎண், மூலச்சுருதியின் மும்மடங்காகும்.

$$n_3 = \frac{3}{2l} \sqrt{T/m}$$

இந்த அதிர்வு எண்கள் ஓர் அடுக்குத் தொடராக (Hormonic Series) அமையும் ($n_1 : n_2 : n_3 \ldots\ldots 1 : 2 : 3 \ldots\ldots$) இந்தச் சுரங்கள் அடுக்குச் சுரங்கள் (Hormonic notes) எனப்படும். முதல் அடிப்படைச் சுரம் முதல் சுரம் என்றும், முதல் மேல் சுரம் இரண்டாவது அடுக்குச் சுரம் என்றும் (Second Hormonic) இதே போல் மற்றவையும் கூறப்படும்.

பொதுவாக ஒரு கம்பி அதன் அடிப்படைச் சுரத்தில்தான் அதிரும். ஆனால், அதே நேரத்தில் அதில் மேல் சுரங்களும் தோன்றலாம். ஆனால், மேல் சுரங்களின் ஒலிவலிமை மிகக் குறைந்த அளவே இருக்கும்.

அதிரும் நிலையிலுள்ள கம்பியின் இடப்பெயர்ச்சிக்கு ஒரு பொதுச் சமன்பாடு (General Equation)

இரு முனைகளிலும் பொருத்தப்பட்டு அதிரும் ஒரு கம்பியின் இடப்பெயர்ச்சிக்கு ஒரு பொதுச் சமன்பாடு காண்போம். கம்பியில் குறுக்கலை விரையும்போது அதன் திசை வேகத்திற்கான சமன்பாடு,

$$\frac{d^2 y}{d t^2} = \frac{T}{m} \cdot \frac{d^2 y}{d x^2} = v^2 \frac{d^2 y}{dx^2} \qquad \ldots\ldots(1)$$

இடப்பெயர்ச்சி $y = a \sin \omega t$ என எடுத்துக் கொள்வோம்

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -\omega^2 y$$

எனவே, $-\omega^2 y = v^2 \dfrac{d^2 y}{dx^2}$

அல்லது $\dfrac{d^2 y}{dx^2} + \dfrac{\omega^2}{v^2} y = 0 \qquad \ldots\ldots(2)$

இந்த வகைக்கெழு சமன்பாட்டின் (Differential Equation) தீர்வு (Solution)

$$y = \left[A \sin \frac{\omega x}{v} + B \cos \frac{\omega x}{v} \right] \sin \omega t \qquad \ldots\ldots(3)$$

எல்லா நேரங்களிலும், கம்பியின் முனைகளில் (அவை பொருத்தப் பட்டிருப்பதால்) இடப்பெயர்ச்சிகள் சுழியாக (Zero) இருக்கும்.

கம்பியின் ஒருமுனை A-ல்

$$x = 0 ; \quad y = 0$$

கம்பியின் மறுமுனை B—ல்

$$x = l ; \quad y = 0$$

எனவே, சமன்பாடு (3)—ல் இவற்றைப் பொருத்தினல்

$$0 = B \sin \omega t \text{ ம் } B = 0 ;$$

$$0 = A \sin \frac{\omega l}{v} \sin \omega t.$$

$\frac{\omega l}{v} = P\pi$ எனக் கொள்ளலாம். P என்பது கம்பி அதிரும்போது தோன்றும் வளையங்களின் எண்ணிக்கையைக் குறிக்கும் முழுஎண் (Integer) ஆகும். இந்தக் குறிப்பிட்ட வகையில் சமன்பாட்டின் தீர்வு (Solution),

$$y_p = A_p \sin \frac{P\pi x}{l} \sin \frac{P\pi \cdot vt}{l}$$

அடிப்படை வகை (Fundamental mode) அதிர்வுக்கு $P = 1$.

$$\therefore y = A_1 \sin \frac{\pi x}{l} \sin \frac{\pi vt}{l}$$

$$= A_1 \sin \frac{\pi x}{l} \sin \frac{\pi v}{l} \left[t + \frac{2l}{v} \right]$$

எனவே, y—ன் மதிப்பு $\frac{2l}{v}$ நேர இடைவெளிக்குப்பின் மீண்டும் கிடைக்கும். ஆகவே, இதுதான் அலைவுநேரம் (Period of Vibration) அல்லது அதிர்வு நேரமாகும்.

$$T = \frac{2l}{v} : \text{ அல்லது } 2l = v \cdot T = \lambda$$

$$\frac{1}{n} = \frac{2l}{v} : \text{ அல்லது } n = \frac{v}{2l}$$

$$v^2 = \frac{T}{m} \text{ ஆகையால்,}$$

$$n = \frac{1}{2l} \sqrt{T/m}.$$

இரண்டாவது வகை (Second Mode) அதிர்வுக்கு $P = 2$ கம்பியின் நடுப்புள்ளி (Mid Point) நிலையாக இருக்க, கம்பி இரு வளையங் களாக அதிரும். இதன் அதிர்வு எண், அடிப்படை வகை அதிர்வு

எண்ணைப் போல் இரு மடங்காகும். இதே போல் P-வகை அதிர்வில் (P^{th} mode) அதிர்வெண், அடிப்படை அதிர்வெண்ணைப் போல் 'P' மடங்காக இருக்கும். கம்பியில் $(P-1)$ புள்ளிகள் நிலையாக இருக்கும். இவைதான் கணுக்கள் (Nodes) எனப்படும். கம்பியின் மொத்த நீளத்தையும் $(P-1)$ கணுக்கள் P வளையங்களாகப் பிரிக்கின்றன. ஒவ்வொரு வளையத்தின் நீளமும் (l/P) ஆகும். எந்த இரு கணுக்களுக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு $\frac{T}{2}$ ஆகையால் ஒவ்வொரு வளையமும் அதன் அடிப்படை வகையில் அதிர்கிறது. λ என்பது அதற்குச் சரியான மேல்சுர அதிர்வின் அலை நீளமாகும். எனவே, இருமுனைகள் பொருத்தப்பட்ட ஒரு கம்பி எல்லா மேற் சுரங்களிலும் அதிர்வடையக் கூடியது. மேல் சுரங்களின் அதிர்வெண், அடிப்படை அதிர்வெண்ணின் முழு எண் பெருக்கலாக இருக்கும்.

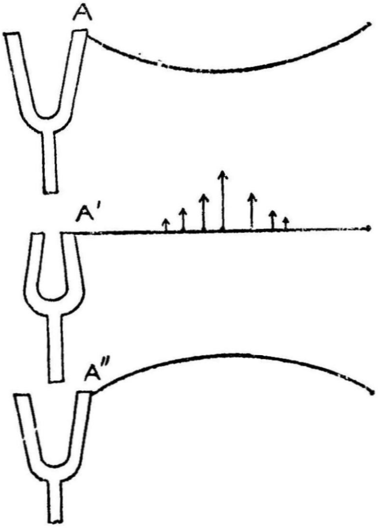
4·11. மெல்டேயின் பரிசோதனை (Melde's Experiment)

இழுத்து வைக்கப்பட்ட ஒரு கம்பியின் குறுக்கலை அதிர்வுகளைக் காணவும், விளக்கிக்காட்டவும் பயன்படும் ஒரு சோதனை மெல்டேயால் செய்யப்பட்டது, இதில் ஒரு மெல்லிய இழை (String) உள்ளது. இதன் ஒரு முனை ஒரு மின்னோட்டத்தால் காக்கப்படும் (Electrically maintained) இசைக் கவையுடன் இணைக்கப்படுகிறது. மற்றொரு முனையில் ஒரு சிறிய தட்டு (Pan) இணைக்கப்படும். இந்த முனை ஒரு கப்பி வழியே சென்று, தட்டு கீழ்நோக்கித் தொங்கும். தட்டில் எடைகளைப் போட்டு இழைக்கு இழுவிசை (Tension) கொடுக்கப்படுகிறது. இசைக்கவையின் அதிர்வு இழைக்கு நீள வாக்கில் இருக்குமாறு அமைக்கலாம் (Longitudinal mode), அல்லது இசைக்கவையின் அதிர்வு இழையின் நீளத்திற்குக் குறுக்காக அமையுமாறு இருக்கலாம் (Transverse mode),

4·12. நெட்டலை அதிர்வுகள் (Longitudinal vibration)

மின்னோட்டத்தால் காப்பிடப்பட்ட இசைக்கவை அதிர்வு அடைய வைக்கப்படுகிறது. இசைக்கவை அதிரும்போது இழையின் நீளவாக்கில் இருக்குமாறு அமைக்கப்படுகிறது, (படம் 39) இழை ஒரு கிடைத்தளத்தில் நேராக இருக்கும். இதன் மறு முனையிலுள்ள தட்டில் ஒரு சிறிய எடை வைக்கப்படுகிறது. இதனுல் இழைக்கு ஒரு இழுவிசை கிடைக்கும். இழை நெட்டலை இயக்கத்தில் அதிர்வடையத் தொடங்கும். இழையைத்தாங்கி நிற்கும் கப்பியை, இசைக்கவையை நோக்கியோ அல்லது எதிர்ப்புறமாகவோ தள்ளி இழையின் நீளம் சரிசெய்யப்படுகிறது.

இழை ஒருவளையமாக (Single loop) அதிர்வு அடையும் வரை சரி செய்யப்படுகிறது. இப்போது எடையை நான்கில் ஒருபங்காகக் குறைத்தால் இழை இருவளையங்களாகத் துடிக்கும்.



படம் 39

அதிர்வு எண்ணுக்கும், வளையத்தின் நீளத்திற்கும் (Loop length) உள்ளதொடர்பை இங்குக் காண்போம். இசைக் கவையின் கால் அதிரும் நிலையையும், அதனை ஒட்டி அதிரும் இழையின் அதிர்வு நிலைகளையும் பக்கத்திலுள்ள படங்கள் காண்பிக்கின்றன. *A* என்ற கால் வலக்கோடிக்கு நகரும்போது இழையில் தொங்கல் (Sag) மிகுந்திருக்கும். கால் இடப்புறமாக நகரும்போது இழை மேல் நோக்கி நகரத் தொடங்கும். இசைக்கவையின் கால் இடக் கோடிக்குச் செல்லும்போது இழை கிடைத்தளத்தில் இழுபட்டு விறைப்பாக (Tight) நிற்கும். இசைக்கவையின் கால் மீண்டும் வலக்கோடிக்குத் திரும்பும்போது இழையில் மீண்டும் தொங்கல் விழாது. மேல் நோக்கி நகரும் இழை அதன் நிலைமப் பண்பு அல்லது சடத்துவத் தன்மையால் (Inertia) தொடர்ந்து மேல்நோக்கியே நகரும். இப்போது படம் 39 (*c*)-ல் காட்டியுள்ளது போல் இழை வில்போன்று (Arc) நிற்கும். எனவே, இசைக்கவையின் கால் ஒருமுறை இடவலமாக இயங்கும்போது இழை கீழிருந்து மேலேபோகிறது. எனவே, இசைக்கவை ஒரு முழு அதிர்வை முடிக்கும்போது இழை அதில் ஒரு பாதி அலைவைத்தான் முடிக்கும். ஆகையால், *N* அதிர்வெண்ணுடைய இசைக்கவையுடன்

இணைக்கப்பட்ட இழை ஒரே வளையமாக அதிரும்போது அதன் அதிர்வு மிகவும் ஆற்றல் உடையதாக இருக்கும். இழையின் இழுவிசை (Tention) T, எனக் கொண்டால்,

$$\tfrac{1}{2} N = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T_1}{m}} \qquad \ldots\ldots(1)$$

m என்பது இழையின் ஓரலகு நீளத்திற்கான நிறை. அதே இழை இருவளையங்களாக அதிர்வு அடைந்தால் அதன் இழுவிசை T_2 எனக் கொள்வோம்.

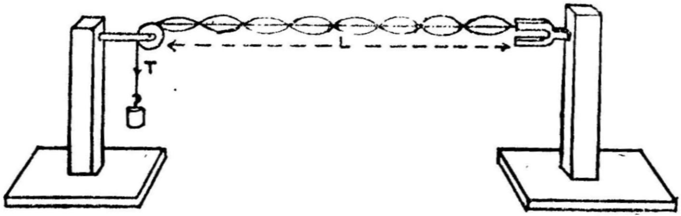
$$N = \frac{1}{\left(\frac{2l}{2}\right)}\sqrt{\frac{T_2}{m.}}$$

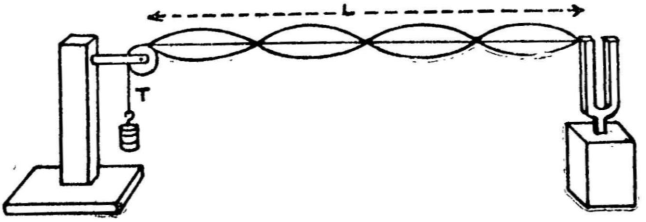
$$= \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T_2}{m.}} \qquad \ldots\ldots(2)$$

பொதுவாக இழை P வளையங்களுடன் அதிர்வடைந்தால்.

$$l = Pl^1$$

$$\therefore \quad \tfrac{1}{2} N = \frac{1}{\left(\frac{2l}{P}\right)}\sqrt{\frac{T_P}{m}}$$





படம் 40

l^1 என்பது ஒவ்வொரு வளையத்தின் சராசரி நீளம் ; l என்பது மொத்த நீளம்.

T_p என்பது P வளையங்களுக்கேற்ப இழுவிசை. எனவே,

$$\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T_1}{m}} = \frac{P}{2l}\sqrt{\frac{T_P}{m.}}$$

$$\boxed{T_P \,.\, P^2 = \text{ஒரு மாறிலி}} \qquad \ldots\ldots (3)$$

$$T_P = \frac{N^2 l^2 m}{P^2} \qquad \ldots\ldots (4)$$

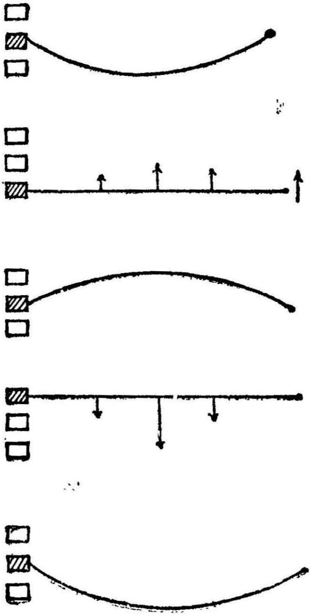
எனவே, இழையை 1, 2, 3,.........வளையங்களாக அதிரச் செய்யத் தேவையான இழுவிசை இந்த எண்களின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும். இழுவிசையை $\frac{1}{1^2}$, $\frac{1}{2^2}$, $\frac{1}{3^2}$ ....என்ற விகிதத்தில் குறைத்தால் வளையங்கள் 1, 2, 3, ... ஆக அதிகரிக்கும். இதிலிருந்து அதிரும் கம்பியின் விதிகளைச் சரிபார்க்கலாம்.

4·13. குறுக்கலை முறையில் அதிர்வு அடைதல் (Transverse mode of vibration)

இந்த முறையில் இசைக்கவையின் அதிர்வு தளம் 90° திருப்பப்படுகிறது. இசைக்கவை அதிரும் திசை இழையின் நீளத்திற்குச் செங்குத்தாக இருக்கும். இங்கு இழையின் முனை இசைக்கவையின் அதிர்வை ஒட்டியே செல்லுகிறது. இசைக் கவையின் அதிர்வையும் இழையின் அதிர்வு நிலைகளையும் படம் காட்டுகிறது. சிறிய நீள்சதுரங்கள் இசைக் கவைக் காலின் மூன்று நிலைகளைக் காண்பிக்கின்றன. இங்கு இசைக் கவையின் அதிர்வும், இழையின் அதிர்வும் ஒன்றையொன்று ஒத்திருக்கின்றன. எனவே,

$$N = \tfrac{1}{2}l\sqrt{T_1/m}$$

l என்பது இழை ஒரே வளையமாக அதிரும்போது உள்ள நீளம். T_1 அதற்கான இழுவிசை. m இழையின் ஓரலகு நீளத்திற்கான நிறை.



படம் 41

இழை P வளையங்களாக அதிர்வு அடைந்தால்,

$$N = \frac{P}{2l}\sqrt{\frac{T_P}{m}}$$

முன்பு கூறியதுபோல் $T_P \cdot P^2$ = ஒரு மாறிலி.

$$T_P = \frac{4\,N^2\,l^2 m}{P^2} \qquad \ldots.. (5)$$

சமன்பாடுகள் (4)ஐயும் (5)ஐயும் ஒப்பிட்டுப் பார்க்கும்போது ஒரு குறிப்பிட்ட வளையங்களைக் கொடுப்பதற்கு நெட்டலையில் தேவைப் படும் இழுவிசையைப்போல் 4 மடங்கு இழுவிசை குறுக்கலை முறை யில் தேவைப்படும்.

4·14· மெல்டே இழை பரிசோதனை

மெல்டே இழையைப் பயன்படுத்தி மின்னோட்டத்தால் காப்பிடப்படும் இசைக்கவையின் அதிர்வு எண்ணைக் கணக் கிடலாம்.

இசைக்கவை மின்னோட்டத்தால் தொடர்ந்து அதிர்வு நிலை யில் வைக்கப்படுகிறது. அதன் ஒரு முள்ளுடன் மெல்லிய நூல் இழை இணைக்கப்படுகிறது. நூலிழையின் மற்றொரு முனையில் ஒரு சிறிய தட்டு இணைக்கப்பட்டு இழை ஒரு கப்பி வழியே சென்று தட்டு கீழ் நோக்கித் தொங்குமாறு அமைக்கப்படுகிறது. நூல் இழையை நெட்டலை முறையிலோ அல்லது குறுக்கலை முறையிலோ அதிர்வடைய அமைக்கலாம். தட்டில் ஒரு குறிப்பிட்ட எடையை வைத்துக் கப்பியை இங்கும் அங்கும் நகர்த்தி இழை சில குறிப் பிட்ட வளையங்களுடன் அதிர்வு அடையும்படிச் செய்யப்படுகிறது. அதிர்வின் வீச்சு பெரு மதிப்பாக இருக்குமாறு கம்பியின் நிலை சரி செய்யப்படுகிறது. இசைக்கவையிலிருந்து கப்பியின் தொலைவு இழையின் நீளத்தைக் கொடுக்கும். இதை வளையங்களின் எண்ணிக்கையால் வகுக்க ஒரு வளையத்தின் சராசரி நீளம் l_1 கிடைக்கும். N என்பது இசைக்கவையின் அதிர்வு எண் என்றால்,

$$N = \frac{1}{l_1}\sqrt{\frac{T}{m}} \quad \text{— நெட்டலைக்கு}$$

$$N = \frac{1}{2l_1}\sqrt{\frac{T}{m}} \quad \text{— குறுக்கலைக்கு}$$

சரியாக 10 மீட்டர் நீளமுள்ள இழையைப் பௌதிகத் தராசில் எடைபோட்டு ஓரலகு நீளத்திற்கான நிறை m கண்டு பிடிக்கப்படு கிறது. மேலே குறிப்பிட்ட சமன்பாடுகளில் ஒன்றைப் பயன்படுத்தி

அதிர்வு எண் N கணக்கிடப்படுகிறது. இதேபோல் பல்வேறு எடைகளைத் தட்டில் போட்டு இழுவிசையை மாற்றிப் பரிசோதனை பல முறை செய்யப்படுகிறது. அளவீடுகள் கீழ்க்கண்ட அட்டவணையில் பதிவு செய்யப்படுகின்றன.

எண்	தட்டில் எடை	வளையங்களின் எண்ணிக்கை	ஒரு வளையத்தின் நீளம்.	$\frac{T}{l^2}$

இழுவிசையைக் கணக்கிடும்போது தட்டின் எடையையும், சேர்த்துக்கொள்ள வேண்டும். $\frac{T}{l^2}$ ஒரு மாறிலியாக வரும்.

குறிப்பு

ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணுக்கு வளையத்தின் நீளத்தின் இருமடி, இழுவிசைக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது.

$$l^2 \alpha T$$

அல்லது $\frac{l^2}{T}$ = ஒரு மாறிலி.

இந்த முறையில் ஒரு சிறிய பொருள், ஒரு திரவம் ஆகியவற்றின் ஒப்படர்த்திகளை ஆர்க்கிமிடிஸ் தத்துவத்தைப் பயன்படுத்திக் கணக்கிடலாம். கொடுக்கப்பட்ட பொருள், இழையின் நுனியில் கட்டப்பட்டுத் தொங்க விடப்படுகிறது. வளைய நீளம் கண்டு பிடிக்கப்படுகிறது. பின் பொருள் நீரில் மூழ்கி இருக்கும்போது, அதே சோதனை செய்யப்பட்டு வளைய நீளம் காணப்படுகிறது. இதேபோல் பொருள் திரவத்தில் மூழ்கி இருக்கும்போதும் வளைய நீளம் காணப்படுகிறது.

l_a, l_W, l_L என்பவை பொருள் காற்றில், நீரில் திரவத்திலிருக்கும் போது முறையே வளைய நீளங்களாகும்,

$$l^2 \alpha T$$

$l^2_a \alpha m_1 g$ — காற்றில்

$l^2_W \alpha m_2 g$ — நீரில்

$l^2_L \alpha m_3 g$ — திரவத்தில்.

$$\text{பொருளின் ஒப்படர்த்தி} = \frac{\text{பொருளின் எடை}}{\text{நீரில் தோற்ற எடை இழப்பு}}$$

$$= \frac{m_1}{m_1 - m_2} = \frac{l^2_a}{l^2_a - l^2_w}$$

இதே போல் திரவத்தின் ஒப்படர்த்தி.

$$= \frac{\text{திரவத்தில் தோற்ற எடை இழப்பு.}}{\text{நீரில் தோற்ற எடை இழப்பு.}}$$

$$\frac{m_1 - m_3}{m_1 - m_2} = \frac{l^2_a - l^2_L}{l^2_a - l^2_w}$$

இந்தச் சமன்பாடுகளைப் பயன்படுத்தி ஒரு பொருள், ஒரு திரவம் ஆகியவற்றின் ஒப்படர்த்திகளைக் கணக்கிடலாம்.

எடுத்துக்காட்டுகள்

(1) 0.01 ச.செ.மீ குறுக்குப் பரப்புள்ள செப்புக் கம்பி 1 கிலோ கிராம் இழுவிசையில் இருக்கிறது. அதில் குறுக்கலையின் திசை வேகத்தைக் கணக்கிடு. செம்பின் அடர்த்தி 8.93 கிராம்/க. செ.மீ.

$$v = \sqrt{T/m.}$$

T என்பது இழுவிசை. $T = 1$ கிலோகிராம்.

m என்பது அலகு நீளத்திற்கான நிறை } $m = \pi r^2 l d = {\cdot}01 \times 1 \times 8{\cdot}93$

$$= {\cdot}0893 \text{ கிராம்}$$

$$v = \sqrt{\frac{1000 \times 980}{{\cdot}0893}}$$

$$= 33{\cdot}12 \text{ மீட்டர்/விஞடி.}$$

கம்பியில் திசைவேகம் $v = 33{\cdot}12$ மீட்டர்/விஞடி.

(2) 0.15 மீட்டர் நீளமுள்ள ஒரு கம்பி 5 கிலோகிராம் இழுவிசைக்கு உட்படுத்தப்படுகிறது. அதன் நிறை மீட்டருக்கு 0.015 கிலோ கிராம்கள். அதன் அடிப்படை அதிர் வெண்ணைக் கண்டுபிடி. புவிஈர்ப்பு முடுக்கம் $= 9{\cdot}81$ மீட்டர்/விஞடி^{2}

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{T/m.}$$

$$l = 0{\cdot}15 \text{ மீட்டர்}$$

$$T = 5 \times 9{\cdot}81$$

$$m = 0{\cdot}015 \text{ கி. கிராம்/மீட்டர்.}$$

$$n = \frac{1}{2 \times 0{\cdot}15}\sqrt{\frac{5 \times 9{\cdot}81}{0{\cdot}015}}$$

$$= 1906.$$

அடிப்படை அதிர்வெண் = 1906.

(3) 0·60 மீட்டர் நீளமும், 0·0005 மீட்டர் விட்டமும் உடைய ஒரு எஃகுக் கம்பி ஒரு குறிப்பிட்ட இழு விசையில் 240 அதிர் வெண்களையுடைய சுரத்தை எழுப்புகிறது. 0·4 மீட்டர் நீளமும், 0·0006 மீட்டர் விட்டமும் உடைய எஃகுக்கம்பி அதே இழுவிசையில் அதிர்கிறது. அதன் அடிப்படை அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடி.

முதல் கம்பிக்கு $n = 240,\ l = \cdot 6$ மீட்டர்

ஆரம் $r = \cdot 00025$ மீட்டர்.

$$n = \frac{1}{2\times\cdot 6}\sqrt{\frac{T}{\pi(\cdot 00025)^2 d}} \qquad \ldots\ldots(1)$$

[d என்பது எஃகின் அடர்த்தி.]

இரண்டாவது கம்பிக்கு

$$n = \frac{1}{2\times\cdot 4}\sqrt{\frac{T}{\pi(\cdot 0003)^2 d}} \qquad \ldots\ldots(2)$$

(2)ஐ (1)ஆல் வகுக்க

$$\frac{n}{240} = \frac{3}{2}\sqrt{\frac{(\cdot 00025)^2}{(\cdot 0003)^2}}$$

$$= \frac{3}{2}\times\frac{25}{30}$$

$$n = 240\times\frac{3}{2}\times\frac{5}{6}$$

$$= 300$$

அடிப்படைச் சுரத்தின் அதிர்வு எண் = 300/விநாடி.

(4) 0·1 மீட்டர் நீளமுள்ள ஒரு கம்பி ஒரு குறிப்பிட்ட இழு விசையுள்ள 256 அதிர்வெண்ணுடைய சுரத்தை எழுப்புகிறது. இழுவிசை 1 கிலோகிராம் அதிகரிக்கப்பட்டால் அதிர்வு எண் 320 ஆக உயர்கிறது. கம்பியின் துவக்க இழுவிசையையும், மொத்த நிறையையும் கணக்கிடு.

கம்பியின் துவக்க இழுவிசை T ஆக இருக்கட்டும்

M என்பது அதன் மொத்தநிறை.

$$n_1 \propto \sqrt{T}$$

$$n_2 \propto \sqrt{T+1}$$

$$\therefore \frac{n_2}{n_1} = \sqrt{\frac{T+1}{T}}$$

$$\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 = \left(\frac{T+1}{T}\right)$$

$$\left[\frac{320}{256}\right]^2 = 1 + \frac{1}{T}$$

$$\frac{25}{16} = 1 + \frac{1}{T}$$

$$\frac{1}{T} = \frac{25}{16} - 1 = \frac{9}{16}$$

$$\boxed{T = \frac{16}{9} \text{ கிலோ கிராம்கள்}}$$

மொத்த நிறை காண

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{T/m}$$

$$n^2 = \frac{1}{4l^2} \cdot \frac{T}{m}$$

$$m = \frac{1}{4l^2} \cdot \frac{T}{n^2}$$

$$= \frac{1}{4(\cdot 1)^2} \times \frac{16}{9} \times \frac{1}{256^2}$$

$$M = ml$$

$$= \frac{1}{4 \times \cdot 1^2} \times \frac{16}{9} \times \frac{1}{256^2} \times 9.81$$

$$= \cdot 000666 \text{ கிலோ கிராம்கள்}$$

கம்பியின் துவக்க இழுவிசை $= \frac{16}{9}$ கிலோ கிராம்கள்

கம்பியின் மொத்த நிறை $= 0 \cdot 000666$ கிலோ கிராம்கள்.

(5) 0.8 மீட்டர் நீளமும், 0.0002 கிலோகிராம் நிறையு முள்ள ஒரு கம்பி 250 அதிர்வெண்ணுடைய இசைக்கவைக்கு

இணைக்கப்படுகிறது. கம்பி 4 வளையங்களாக அதிர எவ்வளவு இழுவிசை தேவை?

அதிர்வு எண் $n = \frac{P}{2l}\sqrt{T/m}$

$l = \cdot 8$ மீட்டர்

$m = \frac{\cdot 0002}{\cdot 8}$

$P = 4$

$n = 250$

$$\therefore\ 250 = \frac{4}{2\times\cdot 8}\sqrt{\frac{T}{\cdot 0002/\cdot 8}}$$

$$250^2 = \frac{16}{4\times\cdot 64}\ \frac{\cdot T\ (.8)}{(\cdot 0002)}$$

$$T = \frac{\cdot 0002\times 250^2\times 4\times\cdot 64}{\cdot 8\times 16}$$

$= 2\cdot 5$ நியூட்டன்கள்

(6) மெல்டேயின் சோதனையில் 128 அதிர்வுகளை உடைய ஒரு இசைக்கவையுடன் ஒரு பிளாட்டினக் கம்பி இணைக்கப்படுகிறது. அதன் இழுவிசை 1 கிலோ கிராம். பிளாட்டினத்தின் அடர்த்தி 21. கம்பியின் விட்டம் $0\cdot 0005$ மீட்டர். கம்பி இரு வளையங்களாக அதிர அதன் நீளம் என்ன இருக்கவேண்டும்? ($g = 9\cdot 81$ மீட்டர்/விஞடி^{2})

கம்பி இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணோடு அதிரும்.

$$n = \frac{P}{2l}\sqrt{T/m.}$$

$$l = \frac{P}{2n}\sqrt{T/m}$$

இங்கு $P = 2,\qquad T = 1\cdot 981$

$$n = 128,\qquad m = \pi\left(\frac{\cdot 0005}{2}\right)^2.\ 1\times 21.$$

$$\therefore\ l = \frac{2}{2\times 128}\sqrt{\frac{1\times 9\cdot 81\times 4}{\pi\ (\cdot 0005)^2\times 21}}$$

$= \cdot 381$ மீட்டர்

கம்பியின் நீளம் $= \cdot 381$ மீட்டர் இருக்க வேண்டும்.

(7) மெல்டேயின் சோதனையில் ஒரு கம்பி 3 வளையங்களாக அதிர்கிறது. அதன் இழுவிசை 0·008 கிலோ கிராம். கம்பி 6 வளையங்களாக அதிர இழுவிசை என்ன இருக்கவேண்டும்?

முதலில் $n = \frac{P}{2l}\sqrt{T/m}$ இங்கு $P = 3$

$$= \frac{3}{2l}\sqrt{\frac{.008\,g}{m}} \qquad \ldots\ldots(1)$$

அடுத்து, 6 வளையங்களாக அதிர

$$n = \frac{6}{2l}\sqrt{\frac{g}{m}} \qquad \ldots\ldots(2)$$

(1) ஐயும் (2) ஐயும் சமமாக்க,

$$\frac{3}{2l}\sqrt{\frac{\cdot 008g}{m}} = \frac{6}{2l}\sqrt{\frac{mg}{m.}}$$

$$3\sqrt{\cdot 008} = 6\sqrt{m.}$$
$$9 \times \cdot 008 = 36m.$$

$$m = \frac{9}{36} \times \cdot 008 = \cdot 002 \text{ கி. கிராம்.}$$

கம்பியின் இழுவிசை = ·002 கி. கிராமாக இருக்கவேண்டும்.

வினாக்கள்

1. இழுத்துக் கட்டப்பட்டுள்ள ஒரு கம்பியில் அலையின் வேகம் $\sqrt{\frac{T}{m}}$ எனக் காண்பி. T என்பது இழுவிசையையும், m என்பது ஓரலகு நீளத்திற்கான நிறையையும் குறிக்கின்றன. இதிலிருந்து அதிரும் கம்பியின் அதிர்வு எண்ணுக்கு ஒரு கோவையைத் (Expression) தருவி.

2. கம்பியின் குறுக்கலை அதிர்வு விதிகள் யாவை? ஒரு சோனா மீட்டரைப் பயன்படுத்தி ஒரே பொருளாலான இரு கம்பி களின் விட்டங்களை எவ்வாறு ஒப்பிடலாம் எனக் காண்பி.

3. மெல்டே பரிசோதனையை விவரி. ஒரு பரிசோதனையில் தட்டில் .01 கிலோ கிராம் எடை இருக்கும்போது நூலிழை 5 வளையங்களோடு அதிர்கிறது. நூலிழை 7 வளையங்களோடு அதிர, தட்டில் இன்னும் எவ்வளவு எடை வைக்கப்பட வேண்டும்? (தட்டின் எடையைத் தள்ளிவிடலாம்)

4. கம்பியின் குறுக்கலை அதிர்வு விதிகளைக் கூறு. அவற்றை சோனு மீட்டரைக் கொண்டு எவ்வாறு சரி பார்க்கலாம்?

0·7 மீட்டர் நீளமும், 0·00218 கி. கிராம் எடையுமுடைய ஒரு கம்பி, 0·16 கி. கிராம் இழுவிசையில் இழுத்து வைக்கப் பட்டிருக்கிறது. $g = 9 \cdot 81$ மீட்டர்/வினடி^{2} ஆனல், அதிர்வின் அடிப்படை அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடு.

5. இழுத்து வைக்கப்பட்ட கம்பியின் குறுக்கலை அதிர்வின் வேகத்திற்கு ஒரு கோவையைப் பெறுக. அதிலிருந்து P வளையங் களாக அதிரும் கம்பியின் அதிர்வெண்ணுக்கு ஒரு கோவையைத் தருவி.

6. ஒரு வயலினின் '*E*' கம்பி 0·36 மீட்டர் நீளமுடையது. அதன் எடை 0.00015 கி. கிராம். அது 660 அதிர்வெண்ணைத் தர, எவ்வளவு இழுவிசை கொடுக்கப்பட வேண்டும்?

7. ஒரு மெல்டேயின் பரிசோதனையில் தட்டில் 0·008 கி. கிராம் வைக்கப்பட்டபோது நூலிழை 3 வளையங்களாக அதிர் கிறது. அதே நூலிழை 5 வளையங்களாக அதிர எவ்வளவு எடை தட்டில் வைக்கப்பட வேண்டும்?

8. 0·5 மீட்டர் நீளமுள்ள ஒரு கம்பி 2·5 கி. கிராம் எடை இழுவிசை பெறுகிறது. அதன் நிறை 0·00144 கி. கிராம் ஆனல் அது இரண்டாவது மேல் சுரத்தில் அதிரும்போது அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடி.

9. 1·08 மீட்டர் நீளமுடைய ஒருகம்பி 1 கி.கிராம் எடை இழுவிசை பெறுகிறது. அதன் அடிப்படை அதிர்வு எண் 256. அதன் சுருதி ஒரு மேஜர் சுரம் (Major tone) அளவு உயர வேண்டுமானல் கம்பியின் நீளம், இழுவிசை 4 கி. கிராமாக இருக்கும்போது எவ்வளவு மிகுதிப்பட வேண்டும்?

10. மெல்டேயின் சோதனை முறையை விளக்கி எழுது. இதில் நெட்டலை வகையில் அதிர்வு எண், குறுக்கலை வகையில் அதிர்வு எண்ணில் பாதி எனக் காண்பி.

11. ஒரு கம்பியில் தோன்றும் மேல்சுரங்கள் அல்லது அடுக்குச் சுரங்கள் என்பவை யாவை? ஒரு கம்பியில் இரட்டைப் படை அடுக்குச் சுரங்களும், ஒற்றைப்படை அடுக்குச் சுரங்களும் தோற்றுவிக்கலாம் எனக்காண்பி.

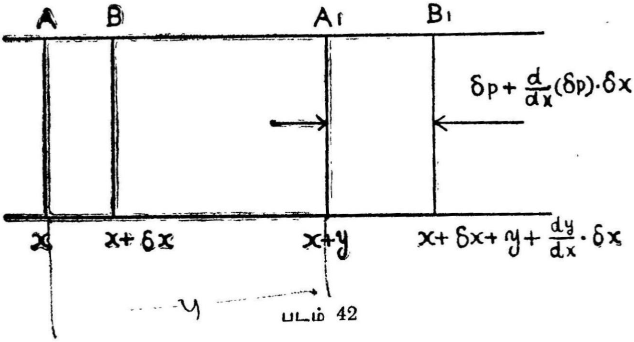
12. ஒரு சோனு மீட்டரின் அமைப்பை விவரித்து எழுது. அதைக்கொண்டு ஒரு இசைக்கவையின் அதிர்வுஎண்ணை எவ்வாறு கண்டுபிடிப்பாய்?

5. காற்றில் நெட்டலைகள்— காற்றில் ஒலியின் வேகம்

(Velocity of Longitudinal waves)

1. காற்றில் ஒலியின் வேகம்

ஒலி அலைகள் காற்றில் விரையும்போது, காற்றின் ஒவ்வொரு துகளும் அலைவு இயக்கத்தில் இருக்கும். இந்த இயக்கம் அலை விரையும் திசையிலேயே இருக்கும். எனவேதான், அது ஒரு நெட்டலை இயக்கம் எனப்படுகிறது. துகள்களின் கட்டம் (Phase) தொடர்ந்து மாறிக்கொண்டே போகும்; ஒவ்வொரு கணத்திலும் துகள்கள் மாறி மாறி நெருங்கியும் விலகியும் இருக்கும்படித் துகள்களின் இடைப்பட்ட தொலைவு மாறிக்கொண்டே இருக்கும். இதனால் வாயுவில் துகளுக்குத் துகள் அழுத்தம் (Pressure) மாறுகிறது.



படம் 42

ஊடகத்தில் ஓர் அலகு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புள்ள நீள் உருளைக் குழலை எடுத்துக் கொள்வோம். *A*, *B* என்பவை அதன் நீளத்திற்குச் செங்குத்தாக உள்ள இரு தளங்கள் (படம் 42).

இவை அலை இயக்கம் தொடங்கிய இடத்திலிருந்து முறையே x, $x + \delta x$ தொலைவில் இருக்கின்றன. அலை இயக்கம் X-திசையில் இடமிருந்து வலமாக விரைவதாகக் கொள்வோம்.

அலைவிரையும் போது அடுத்த சில கணங்களில் A என்ற தளம் A_1 என்ற நிலையையும் B என்ற தளம் B_1 என்ற நிலையையும் அடைகின்றன. (A_1, B_1 புதிய நிலைகள்).

A_1-ன் தொலைவு, $x + y$

y என்பது x-திசையில் இடப்பெயர்ச்சியைக் குறிக்கிறது.

$\frac{dy}{dx}$ என்பது தொலைவோடு இடப்பெயர்ச்சி மாறுவீதத்தைக் குறிப்பதால், B_1-ன் தொலைவு

$$[x + \delta x] + \left[y + \frac{dy}{dx} \cdot \delta x\right] \text{ ஆகும்.}$$

ஆகவே, அலை இயக்கம் இந்த இரு தளங்களுக்கு இடைடே உள்ள காற்றின் பருமனை மாற்றுகிறது. அதே நேரத்தில் குழலின் நீளத்தில் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் அழுத்த மாறுபாட்டைத் தோற்றுவிக்கிறது.

A, B என்ற இரு தளங்களுக்கு இடையே உள்ள துவக்கப் பருமன் (குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு ஒரு அலகு ஆதலால்)

$$(x + \delta x) - x = \delta x$$

$A_1 B_1$ இடையே உள்ள பருமன்

$$\left[(x + \delta x) + y + \frac{dy}{dx} \cdot \delta x\right] - (x + y)$$

$$= \delta x + \frac{dy}{dx} \cdot \delta x$$

பருமனில் அல்லது கனஅளவில் (Volume) மாறுபாடு (Change)

$$= \delta x + \frac{dy}{dx} \cdot \delta x - \delta x$$

$$= \frac{dy}{dx} \cdot \delta x$$

பருமத்திரிபு (Volume Strain)

$$= \frac{\text{பரும மாறுபாடு}}{\text{துவக்கப் பருமன்}}$$

$$= \frac{\frac{dy}{dx} \delta x}{\delta x}$$

$$= \frac{dy}{dx}$$

δP என்பது A தளத்தில் (இப்போது A_1) உள்ள அழுத்த வேறுபாடு ஆனால் B தளத்தில் (இப்போது B_1) அழுத்த மாறுபாடு

$$\delta P + \frac{d}{dx}(\delta P).\ \delta x \text{ ஆகும்.}$$

இப்போது δP-அழுத்த மாறுபாடு A, B என்ற இரு தளங்களுக்கிடையே செயல்பட்டு அதன் மீது பருமத் திரிபைத் (Volume strain) தோற்றுவிக்கிறது. $\frac{d}{dx}(\delta P).\ \delta x$ என்ற அழுத்த வேறுபாடு, திரிபடைந்த பருமன் துவக்க நிலைக்கு வரத் தேவையான மீள் விசையை (Restoring force) அளிக்கிறது.

K-என்பது பரும மீட்சிக் குணகம் (Bulk Modulus) ஆனால்,

$$K = \frac{\text{தகைவு (Stress)}}{\text{திரிபு (Strain)}}$$

$$= \frac{\text{அழுத்த மிகுதி}}{\text{பருமத் திரிபு}}$$

$$= -\frac{\delta P}{\frac{dy}{dx}}$$

$$\delta P = -K\frac{dy}{dx}$$

இந்த எதிர்க்குறி அழுத்தம் மிகுந்தால் பருமன் குறைவதைக் காட்டுகிறது.

இரு தளங்களுக்கிடையே செயல்படும் மீள்விசை (Restoring Force)

$$= \frac{d}{dx}(\delta P)\,\delta x.$$

$$= \frac{d}{dx}\left[-K.\frac{dy}{dx}\right]\delta x.$$

$$= -K.\frac{d^2y}{dx^2}\,\delta x \qquad \ldots\ldots (1)$$

காற்றின் அடர்த்தி (Density) ρ எனக் கொண்டால், தளங்களுக்கிடையே உள்ள காற்றின் நிறை (Mass)

$\delta x.\ 1.\ \rho$ [∵ குறுக்குப் பரப்பு ஒரு அலகு ஆகும்]

B_1-லிருந்து A_1-க்குச் செயல்படும் விசை

$$= \text{நிறை} \times \text{முடுக்கம் (துகளின்)}.$$

$$= \delta x.\ 1.\rho \times \left(-\frac{d^2y}{dt^2}\right)$$

$$= -\frac{d^2y}{dt^2}\rho \cdot \delta x \qquad \ldots\ldots(2)$$

சமன்பாடுகள் (1)ம் (2)ம் சமம்.

$$-K\frac{d^2y}{dx^2}\delta x = -\frac{d^2y}{dt^2}\rho.\ \delta x$$

$$\boxed{\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{K}{\rho}\frac{d^2y}{dx^2}}$$

இதை $\frac{d^2y}{dt^2} = v^2\frac{d^2y}{dx_2}$ என்ற சமன்பாட்டோடு ஒப்பிட்டால்

$$v^2 = \frac{K}{\rho}$$

$$\boxed{v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}}$$

$$\text{திசை வேகம் } v = \sqrt{\frac{\text{பரும மீட்சிக் குணகம்}}{\text{அடர்த்தி}}}$$

இது காற்றில் விரையும் ஒரு ஒலி அலையின் வேகத்தைக் குறிக்கும் கோவை (Expression) ஆகும்.

மேற்கண்ட கோவை ஒரு காற்று ஊடகத்தில் ஒலி விரைவதாகக் கொண்டு தருவிக்கப்பட்டது. மற்ற எந்த வாயுவிலும் ஒலி விரையும்போது அதன் வேகத்திற்கு இதே கோவைதான்.

5·2. நியூட்டனின் வாய்பாடு (Newton's formula)

வாயுக்களில் ஒலி நெட்டலைகளாக விரையும்போது அழுத்த — பரும வேறுபாடுகள், அந்த வாயுக்களில் வெப்ப நிலையை மாற்றுவதில்லை. மாறு வெப்பநிலையில்தான் (Isothermal) அலை இயக்கம் பரவுகிறது என நியூட்டன் கருதினர். ஆகவே, பாயிலின் விதிப்படி,

$$PV = K \; (\text{மாறிலி})$$

$$P\delta V + V\delta P = O$$

$$\delta P = -P\frac{\delta V}{V}$$

$$P = -\frac{\delta P}{\left(\frac{\delta V}{V}\right)}$$

$$= \frac{\text{அழுத்த மாறுபாடு}}{\text{பருமத் திரிபு}}$$

$$= k$$ (bulk modulus)

$$\text{ஆகவே } v = \sqrt{\frac{P}{\rho}}$$

$$= \sqrt{\frac{\text{வாயுவின் அழுத்தம்}}{\text{அடர்த்தி}}}$$

இது நியூட்டனின் வாய்பாடு எனப்படும். நியூட்டன் ஒலியின் அலை வேகத்தை வாயுவின் அழுத்தம் – அடர்த்தி ஆகிய இரண்டையும் கொண்டு கணக்கிடும் முறையைக் கண்டார். படித்தர (Standard) நிலையில் காற்றின் அழுத்தம்

$$P = 76 \times 13{\cdot}6 \times 981 \text{ டைன்/ச.செ.மீ}$$

காற்றின் அடர்த்தி $\rho = 0{\cdot}00129$ கிராம்/க.செ.மீ.
இந்த மதிப்புகள் $O^\circ C$-ல் உள்ளவை.

$$v = \sqrt{\frac{76 \times 13.6 \times 981}{{\cdot}00129}}$$

$$= 280 \text{ மீட்டர்கள்/விநாடிக்கு ஆகும்.}$$

ஆனால், பரிசோதனை மூலம் $O^\circ C$-ல் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஒலி வேகம், காற்றில் விநாடிக்கு 332 மீட்டர்கள் ஆகும். இது கணக்கிடப்பட்ட வேகத்தைவிட அதிகம் ஆகும். எனவே, நியூட்டனின் அழுத்த - பரும மாறுபாடு மாறா வெப்பநிலையில் தோன்றுகின்றன என்ற கருத்து தவறானது எனக் கொள்ளப் பட்டது.

5·3 இலாப்ளாஸின் திருத்தம் (Laplace's Correction)

நெட்டலைகள் வாயுக்களில் வேகமாக விரைகின்றன. அப்போது பரும - அழுத்த மாறுபாடு மாறா வெப்ப நிலையில்

நிகழுவதில்லை. அக்குறுகிய காலஅளவில் வெளிப் பொருளுடன் வெப்பப் பரிமாற்றம் (Exchange of heat) ஏற்படுவதில்லை. எனவே, பரும - அழுத்த மாறுபாடு வெப்பம் மாறுநிலையில் (Adiabatic) நிகழுகின்றது என்று இலாப்ளாஸ் கருதினர். அதன்படி,

$$PV^{r} = K \text{ (மாறிலி)}$$

$$P\cdot\gamma . V^{r-1}\, \delta V + V^{r}\, \delta p = O$$

$$\delta p = -\frac{\gamma p}{V^{1-r}} \times \frac{1}{V^{r}}\, \delta V$$

$$= -\gamma P . \frac{\delta V}{V}$$

$$\frac{\delta P}{\frac{\delta V}{V}} = -\gamma P$$

$$= \frac{\text{அழுத்த மாறுபாடு}}{\text{பருமத் திரிபு}}$$

$$\therefore E = \gamma P$$

ஆகவே, $V = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$ என ஆகும்.

இது நியூட்டன் - இலாப்ளாஸ் வாய்பாடு எனப்படும். P, ρ ஆகியவற்றின் மேற்சொன்ன மதிப்புகளோடு $\gamma = 1\cdot41$ (காற்றுக்கு) எனக் கொண்டால்

$v = 331\cdot6$ மீட்டர்கள்/வினாடிக்கு என வரும். இது பரிசோதனையின் மூலம் காணப்பட்ட மதிப்புடன் ஒத்திருக்கிறது.

5·4. ஒலிவேகம் — அழுத்தம், வெப்பநிலை, ஈரப்பதன் ஆகியவற்றின் விளைவு. (Effect of Pressure, Temperature and Humidity)

(i) அழுத்தம்

ஒலி வேகத்திற்கான சமன்பாட்டைப் பார்த்தால், வேகம் அழுத்தத்தைப் பொறுத்தது போன்று தோன்றும். ஆனால், உண்மையில் அது அழுத்தத்தைப் பொறுத்தது அல்ல;

வெப்பநிலை மாறாதிருக்கும்போது பாயில் விதிப்படி

$PV =$ ஒரு மாறிலி.

'*m*' - என்பது வாயுவின் நிறையும், ρ - அதன் அடர்த்தியுமானல்

$$v = \frac{m}{\rho}.$$

$$P.\frac{m}{\rho} = \text{மாறிலி.}$$

$$\text{அல்லது } \frac{P}{\rho} = \text{மாறிலி} \quad (m \text{ மாருதது}).$$

ஆகையால் அழுத்தம் P மாறும்போது கூடவே அடர்த்தி ρ-ம் மாறி, $\frac{P}{\rho}$ விகிதம் எப்போதும் மாருமலிருக்கும். எனவே, வாயுவில் ஒலியின் வேகம் அதன் அழுத்தத்தைப் பொறுத்து அமையாது.

(ii) வெப்ப நிலே

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

அழுத்தம் மாருதிருக்கும்போது, வாயுவின் பருமன் (Volume) தனி வெப்பநிலேக்கு (Absolute Temperature) நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். அதன் அடர்த்தி, தனிவெப்ப நிலேக்கு எதிர் விகிதத்திலிருக்கும். ஆக வெப்பநிலே மாறுபாடு, அழுத்தத்தை மாற்ருமல், அடர்த்தியை மட்டும் மாற்றும்.

ρ_o, ρ_t என்பன $O°C$, $t°C$-ல் அடர்த்தியானல்

$$\text{வேகம் } v_o = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_o}}$$

$$v_t = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_t}}$$

$$\therefore \frac{v_t}{v_o} = \sqrt{\frac{\rho_o}{\rho_t}}$$

சார்லஸ் விதிப்படி,

$$\rho_o = \rho_t (1 + \alpha t)$$

α-என்பது வாயுவின் பரும விரிவுக் குணகம் ஆகும். இதன் மதிப்பு எல்லா வாயுக்களுக்கும் ஏறத்தாழ $\frac{1}{273}$ க்கு சமம் ஆகும்.

$$\therefore \frac{v_t}{v_o} = \sqrt{\frac{\rho_t (1+\alpha t)}{\rho_t}}$$

$$= \sqrt{1+\alpha t}$$

$$= \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

$$= \sqrt{\frac{273 + t}{273}}$$

$$= \sqrt{\frac{T_t}{T_o}} \qquad [\because 273+t^\circ C = T^\circ A]$$

T_t, T_o என்பவை தனி வெப்ப நிலைகள். எனவே ஒலியின் வேகம் தனி வெப்பநிலையின் வர்க்க மூலத்திற்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். தனி வெப்பநிலை உயர, ஒலி வேகமும் மிகும்.

$$\frac{v_t}{v_o} = \sqrt{\frac{T_t}{T_o}}$$

$$v_t = v_o \sqrt{1+\alpha t} \qquad [t \text{ - சென்டிகிரேட் அளவில்}]$$

$$= v_o \left(1 + \frac{t}{273}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= v_o \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{t}{273}\right) \quad (\text{ஏறத்தாழ})$$

$$\boxed{v_t = v_o \left(1 + \frac{t}{546}\right)}$$

v_o - என்பது 332 மீட்டர்கள் எனக்கொண்டால்

$$v_t = 332 \left(1 + \frac{t}{546}\right)$$

$$= 332 + {\cdot}61\, t \text{ மீட்டர்கள்/விநாடிக்கு.}$$

இந்தச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி $0^\circ C$-ல் ஒலி அலையின் வேகத்தைக் கணக்கிடலாம். வெப்பநிலை $1^\circ C$ அதிகரிக்கும்போது ஒலியலையின் வேகம் 0·16 மீட்டர்கள்/விநாடிக்கு அதிகரிக்கும்.

(iii) ஈரப்பதனத்தின் விளைவு (Effect of Humidity)

ஈரமற்ற காற்றின் அடர்த்தி, ஈரம் அல்லது நீரின் ஆவி கலந்த காற்றின் அடர்த்தியை விட அதிகமாக இருக்கும். காற்றில் ஈரம்

அதிகரிக்க அடர்த்தி குறையும். ஈரம் மிகுந்த காற்றில் ஒலியின் வேகம் மிகுதியாக இருக்கும்.

P என்பது வளி மண்டல அழுத்தம், ρ - அதன் அடர்த்தியாகவும் இருந்தால் ஒலி அலையின் வேகம்.

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$ ஆகும்.

P_1 என்பது ஈரம் மிகுந்த காற்றில் நீராவியின் பகுதி அழுத்தம் எனக் கொள்வோம். நீராவியின் மூலக்கூறு எடை = 18· காற்றின் மூலக்கூறு எடை = 30 எனக் கொள்ளலாம். எனவே, ஒரு கன செ.மீ. காற்றில் நீராவியின் எடை (Mass of Water Vapour)

$$= \frac{P_1}{P} \times \frac{18\,\rho}{30}$$

1 கன செ. மீட்டரில் ஈரமற்ற காற்றின் எடை

$$= \frac{(P-P_1)\,\rho}{P}$$

ஈரக்காற்றின் அடர்த்தி = 1 க.செ.மீ. ஈரமற்ற காற்றின் நிறை — 1 க. செ. மீ. காற்றில் நீராவியின் நிறை.

$$= \frac{(P-P_1)\rho}{P} - \frac{P_1}{P} \times \frac{18\rho}{30}$$

$$= \frac{\left(P - \frac{12}{30} P_1\right)\rho}{P}$$

$$= \left[1 - \frac{12}{30}\frac{P_1}{P}\right]\rho$$

ஆகவே ஈரக்காற்றில் ஒலியின் அலை வேகம்.

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\left(1 - \frac{12}{30}\frac{P_1}{P}\right)\rho}}$$

ஈரம் அதிகரிக்க 'P_1' அதிகரிக்கிறது 'v' - ஒலியின் வேகம் அதிகரிக்கிறது. ஆனால், ஈரக்காற்றில் γ - ன் மதிப்பு ஈரமற்ற காற்றில் விடக் குறைவாகவே இருக்கும்.

$$\gamma = 1{\cdot}4 - 0{\cdot}1\,\frac{P_1}{P}$$ என மாறும். இந்த இரு மாற்றங்களையும் எடுத்துக்கொண்டால் ஈரக் காற்றில் ஒலியின் வேகம் சிறிதளவு அதிகமாக இருக்கும்.

பொதுவாக ஒலியின் வேகம் பலவற்றைப் பொறுத்தது. எடுத்துக்காட்டாக அதிர்வு எண், வீச்சு, காற்றடிக்கும் திசை (Direction of wind) ஆகியவை ஒலி அலையின் வேகத்தை மாற்றலாம். கேட்கும் எல்லைக்குட்பட்ட (Audible Limits) அதிர் வெண்ணோடு வேகம் மாறுவதில்லை. மிக அதிக அதிர்வெண்ணோடு ஒலி வேகம் சிறிதளவு மிகும்.

5·5. ஒலிவேக வாய்பாட்டின் பயன்கள்

ஒலியின் வேகம் திட, திரவ, வாயுப் பொருள்களில் கீழ்க்கண்ட வாய்ப்பாட்டால் பெறப்படுகின்றது.

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

K - என்பது பரும மீட்சிக்குணகம். ρ - என்பது அடர்த்தி

(a) திடப்பொருளில், நீளவாக்கில் நெட்டலை அதிர்வை எடுத்துக் கொண்டால்

$$v = \sqrt{\frac{q}{\rho}}$$

q - என்பது யங்கின் மீட்சிக் குணகம்.

திடப்பொருளில் ஒலியின்வேகம் தெரிந்தால் யங்கின் குணகத்தைக் கணக்கிடலாம்.

(b) திரவப் பொருள்களில் ஒலியின் வேகம் தெரிந்தால் அதிலிருந்து பரும மீட்சிக் குணகத்தைக் கணக்கிடலாம். இதன் தலைகீழ் மதிப்பு இறுக்குத் திறனைக் (Compressibility) கொடுக்கும். எனவே, திரவத்தின் இறுக்குத் திறனைக் கணக்கிடலாம்.

(c) வாயுக்களில் ஒலியின் வேகத்தைக் காண வாய்பாடு.

$$v = \sqrt{\frac{r\ P}{\rho}}$$

r-என்பது வாயுவின் இரு வெப்ப எண்களின் தகவு ஆகும். ஒரு வாயுவில் ஒலியின் வேகம் தெரிந்தால் அதன் வெப்ப எண்கள் தகவைக் கணக்கிடலாம்.

(d) வாயுவில் ஒலியின் வேகம் தெரிந்தால் அந்த வாயுவின் மூலக் கூறுகளின் திசை வேகத்தை (Molecular Velocity) கணக்கிடலாம்.

$$v = \sqrt{\frac{r\ P}{\rho}}$$

ஒலியின் வேகம் வாயுவின் அழுத்தத்தையும், அடர்த்தியையும் பொறுத்திருக்கிறது. இயக்கக் கொள்கைப்படி (Kinetic theory) ஒரு வாயுவில் அதன் மூலக் கூறுகளின் இயக்கத்தால் அழுத்தம் தோன்றும். எனவே, அழுத்தம்

$$P = \frac{1}{3} \rho \bar{c}^2$$

$\bar{c}^2$ என்பது மூலக்கூறுகளின் சராசரி திசைவேகத்தின் வர்க்க மாகும். (Mean square velocity)

$$\frac{P}{\rho} = \frac{1}{3} \bar{c}^2$$

எனவே, $v = \sqrt{r \frac{1}{3} \bar{c}^2}$

$$v = \bar{c}^1 \sqrt{\frac{r}{3}}$$ என ஆகும்.

இங்கு c-என்பது சராசரி திசைவேகத்தின் வர்க்க மூலம் ஆகும் (Root mean square).

c^1 என்பது சராசரி மூலக்கூறு வேகமானல்,

$$c = c^1 \sqrt{\frac{3\pi}{8}}$$

$$\therefore v = c^1 \sqrt{\frac{r\pi}{8}}$$

ஒரு குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தில், வாயுவில் ஒலியின் வேகம் தெரிந் தால் இந்தக் கோவையைப் பயன்படுத்தி, மூலக்கூற்றின் சராசரி வேகத்தைக் கணக்கிடலாம் எனத் தெரிகிறது. இது முக்கியமான பயன்களில் ஒன்று.

5·6 திரவங்களில் ஒலியின் வேகம்

திரவங்களில் ஒலியின் வேகம், அதன் பரும மீட்சிக் குணகத்தைப் (Bulk modulus of elasticity) பொறுத்து அமையும். K என்பது பரும மீட்சிக் குணகமானல்,

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

ρ-என்பது திரவத்தின் அடர்த்தியாகும்.

தண்ணீருக்கு இயல்பான அழுத்தத்தில்,

$$K = 2 \cdot 2 \times 10^{10}$$

$$P = 1$$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \times 10^{10}}{1}}$$

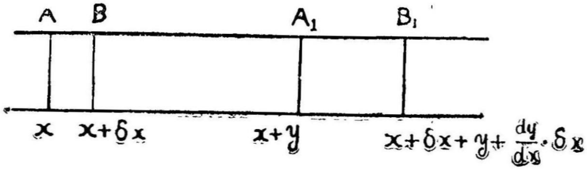
$$= 1480 \text{ மீட்டர்/விஞடி.}$$

திரவங்கள் பொதுவாக இறுகும் தன்மையற்றவை (Incompressible). எனவே அவற்றின் பரும மீட்சிக்குணகம் மிகுதியாக

இருக்கும். அத்தோடு திரவங்களின் அடர்த்தியும் மிகுதியானது. ஆகவே, திரவங்களில் ஒலியின் வேகம் மிக அதிகமாக இருக்கும். நீரில் ஒலியின் வேகம் விநாடிக்கு 1400 மீட்டரிலிருந்து 1800 மீட்டர் வரை கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது. கடலில் வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில், ஆழங்களில் இவை கணக்கிடப்பட்டிருக்கின்றன. வெப்பநிலை, அழுத்தம் ஆகியவற்றைப் பொறுத்து பரும மீட்சிக் குணகம் மிகவும் மாறுபடும். ஆனால், அடர்த்தி அவ்வளவு மாறுபாடு அடைவதில்லை. கடல் நீரில் அதன் உப்புத் தன்மையும் (Salinity) மற்ற வேற்றுப் பொருள்களும் (Impurity) ஒலியின் வேகத்தை மாற்றுகின்றன.

5·7 உலோகத் தண்டில் நெட்டலையின் வேகம்

மிக நீளமானதும் 'a' குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு உடையதுமான ஒரு உலோகத்தண்டை எடுத்துக் கொள்வோம். இதில் நெட்டலைகள் இடமிருந்து வலமாக விரைவதாகக் கொள்வோம். A, B என்பவை தண்டின் நீளத்திற்குச் செங்குத்தாக உள்ள இரு தளங்கள். இவை முறையே துவக்கப் புள்ளியிலிருந்து x, $x + \delta x$ தொலைவிலுள்ளன.



படம் 43

நெட்டலை விரையும்போது A, B தளங்கள் முறையே A_1, B_1 இடங்களுக்கு இடம் பெயர்கின்றன. A_1–இப்போது துவக்கப் புள்ளியிலிருந்து உள்ள தொலைவு $x + y$ ஆகும். Y-என்பது இடப்பெயர்ச்சியைக் குறிக்கும். $\frac{dy}{dx}$, x - திசையில் இடப்பெயர்ச்சி மாறும் வீதத்தைக் குறிக்கும். ஆகவே, இப்போது B_1 தொலைவு துவக்கப்புள்ளியிலிருந்து $(x + \delta x) + y + \frac{dy}{dx}\delta x$.

$\left(y + \frac{dy}{dx} . \delta x\right)$ என்பது B-யின் இடப்பெயர்ச்சி ஆகும்.

இப்போது A_1 B_1 நீளம்

$$\left[x + \delta x + y + \frac{dy}{dx}\delta x\right] - \left[x + y\right] = \delta x + \frac{dy}{dx}\delta x$$

AB-யின் நீளம்

$$\left[x + \delta x \right] - x = \delta x$$

AB தளங்களின் நீட்சி (Increase in length) நீள அதிகரிப்பு,

$$\delta x + \frac{dy}{dx}\,\delta x - \delta x = \frac{dy}{dx}\,\delta x$$

$\frac{\text{நீள அதிகரிப்பு}}{\text{துவக்க நீளம்}}$ = நீளத் திரிபு (Longitudinal strain)

$$\frac{\frac{dy}{dx}\,\delta x}{\delta x} = \text{திரிபு}$$

$$\text{திரிபு} = \frac{dy}{dx}$$

q-என்பது யங்கின் குணகம் ஆனுல்,

$$q = \frac{\text{தகைவு (Stress)}}{\text{திரிபு (Strain)}}$$

$$q = \frac{\frac{F}{a}}{\frac{dy}{dx}}$$

$$F = q.\,\frac{dy}{dx}\,a$$

a-என்பது குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு.

B என்ற தளத்தில் (இப்போது B_1) எதிர்த்திசையில் செயல்படும் விசைகள்.

$$F + \frac{dF}{dy}\,\delta x - F$$

$$= \frac{dF}{dy}\,\delta x$$

$$= \frac{d}{dy}\left[q \cdot a \frac{dy}{dx} \right] \delta x$$

$$= q \cdot a \cdot \frac{d^2y}{dx^2}.\ \ \delta x \qquad \ldots\ldots\text{(A)}$$

A B துண்டின் நிறை $= P \cdot a \cdot \delta x.$

அதன் முடுக்கம் $= \dfrac{d^2y}{dt^2}$

எனவே, அதன் மீது செயல்படும் விசை

$$= \rho \cdot a \cdot \delta x \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \text{ (நிறை} \times \text{முடுக்கம்)} \quad (B)$$

(A), (B) இரண்டையும் சமமாக்கினல்,

$$q \cdot \frac{d^2 y}{d x^2} = \rho . \frac{d^2 y}{dt^2}$$

$$\boxed{\frac{d^2 y}{d t^2} = \frac{q}{\rho} . \frac{d^2 y}{dx^2}}$$

இதை $\frac{d^2 y}{dt^2} = v^2 \frac{d^2 y}{dx^2}$ என்ற சமன்பாட்டோடு ஒப்பு நோக்கின்

$$v^2 = \frac{q}{\rho}$$

$$v = \sqrt{\frac{q}{\rho}} \text{ என ஆகும்.}$$

$$\text{திசைவேகம் } v = \sqrt{\frac{\text{யங்கின் குணகம்}}{\text{அடர்த்தி}}}$$

இது உலோகத்தண்டு (Metallic rod) ஒன்றில் விரையும் நெட்டலையின் திசைவேகத்தைக் (Velocity) குறிக்கிறது.

$$v = \sqrt{\frac{q}{\rho}}$$

5·8. பல்வேறு பொருள்களில் ஒலியின் வேகம்

பொருள்	ஒலியின் வேகம் மீட்டர்/விஞடி	பொருள்		ஒலியின் வேகம் மீட்டர்/விஞடி
அலுமினியம்	5100	ஆல்ககால்	12·5°C	1241
வார்ப்பு இரும்பு	4700	ஈதர்	0°C	1145
எஃகு	5100	நீர்	20°C	1470
செம்பு	3580	பாதரசம்	25°C	1469
பித்தளை	3600	டர்பன்டைன்	11°C	1326
நிக்கல்	4760	காற்று	0°C	331·8
ஓக் மரம்	4200	ஆக்ஸிஜன்	0°C	317
கண்ணடி	4000-5300	நைட்ரஜன்	11°C	337
பாரபின் மெழுகு	1400	கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு	0°C	262
இரப்பர்	30	ஹைடிரஜன்	0°C	1269
தக்கை	500	ஹீலியம்	0°C	970
பளிங்குக் கல்	3810	ஆர்கான்	0°C	319
ஈயம்	1230			

எடுத்துக் காட்டுகள்

1. ஒரு வாயுவின் வெப்ப எண் மாறு அழுத்தத்தில் 0·24. மாறு பருமனில் 0·173. $J = 4 \cdot 2$ ஆனல் $O^{\circ}C$-யில் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடு.

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

ஆனல், $Pv = RT$ $\qquad$ V-என்பது பருமன் (volume)

$$\frac{P}{\rho} = RT \text{ ஆகும்} \qquad \left[\because V = \frac{1}{\rho}\right]$$

$$\therefore v = \sqrt{RT.\gamma}$$

இங்கு, $\gamma = \frac{CP}{CV} = \frac{0 \cdot 240}{0 \cdot 173}$

$$T = 273^{\circ} A$$

$$R = (C_p - C_v) J$$

$$= (0 \cdot 240 - 0 \cdot 173)\ 4 \cdot 2 \times 10^7$$

$$= \cdot 067 \times 4 \cdot 2 \times 10^7$$

$$v = \sqrt{\left(\frac{0 \cdot 240}{0.173}\right) \times 0 \cdot 067 \times 4 \cdot 2 \times 10^7 \times 273}$$

$= 326 \cdot 4$ மீட்டர்கள்/விநாடி.

2. காற்றில் $30^{\circ}C$-யில் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடு. அழுத்தம் 0·755 மீட்டர் பாதரச நீளம். காற்றின் அடர்த்தி $O^{\circ}C$-யில் 0·00129 கிராம்/க.செ.மீ.

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

காற்றுக்கு $\gamma = 1 \cdot 41$.

எனவே, $v = \sqrt{\frac{1 \cdot 41 \times 75 \cdot 5 \times 13 \cdot 6 \times 981}{\cdot 00129}}$

$30^{\circ}C$-ல் வேகம் v_t ஆனல்,

$$\frac{v_t}{v_o} = \sqrt{\frac{T}{T_o}}$$

$$v_t = v_o \sqrt{\frac{T}{T_o}}$$

$$= \sqrt{\frac{1.41 \times 75 \cdot 5 \times 13 \cdot 6 \times 981}{\cdot 00129} \times \frac{303}{273}}$$

$= 353 \cdot 04$ மீட்டர் / விநாடி.

காற்றில் $30^{\circ}C$-யில் ஒலி வேகம் 353·04 மீட்டர்/விநாடி ஆகும்.

3. ஒரு வாயுவின் வெப்ப எண்கள் தகவு 1·41. அதில் ஒலியின் வேகம் 0·68C எனக்காட்டு. C-என்பது மூலக்கூறு வேகத்தின் சராசரி வர்க்க மூலமாகும்.

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

இயக்கக் கொள்கைப்படி,

$$P = \tfrac{1}{3}\rho C^2 \qquad \rho - \text{அடர்த்தி.}$$

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P c^2}{3\rho}}$$

$$v = C\sqrt{\frac{\gamma}{3}}$$

$$= C\sqrt{\frac{1\cdot 41}{3}}$$

$$= 0\cdot 68C$$

வினாக்கள்

1. காற்றில் ஒலி அலை எப்படிப் பரவுகிறது என்பதை விவரி.

2. ஒரு வாயுவில் ஒலியின் திசைவேகத்திற்கு ஒரு கோவையைக் கண்டுபிடி. திசைவேகம், வாயுவின் அழுத்தம், வெப்பநிலை, ஈரப்பதனம் ஆகியவற்றைப் பொறுத்தமைவது எப்படி என விளக்கு.

3. ஒரு வாயுவில் ஒலியின் வேகத்திற்கு நியூட்டனின் வாய்பாட்டைத் தருவி. இதை இலாப்ளாஸ் எவ்வாறு மாற்றினார்? ஏன்?

4. காற்றில் ஒலியின் வேகத்திற்கு ஒரு கோவையைக் காண். காற்றில் வெப்பநிலை 1°c மாறினால் ஒலியின் வேகம் 0·6 மீட்டர் மாறுகிறது எனக் காண்பி. O°C-யில் ஒலியின் வேகம் காற்றில் 330 மீட்டர்/வினாடி.

5. ஒரு வாயுவில் ஒலி வேகத்திற்கு அழுத்தத்தையும் அடர்த்தியையும் பொறுத்து ஒரு கோவையைக் காண். v-என்பது ஒலிவேகம், r-வாயுவின் தனி வெப்ப எண்களின் தகவு, c-மூலக்கூற்றின் சராசரி வேக வர்க்கமூலம் ஆகியவற்றைக் குறித்தால்

$$v = c\sqrt{\frac{r}{3}}$$ எனக் காண்பி.

6. ஒரு வாயுவில் ஒலியின் திசைவேகத்திற்குத் திருத்தங்களுடன் ஒரு கோவையைக்காண். $50°c$—யில் $0·7$ மீட்டர் (பாதரசநீளம்) அழுத்தத்தில் காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடு. இயல்பு வெப்பநிலை அழுத்தத்தில் (*N.T.P.*) ஒலியின் வேகம் 330 மீட்டர் / விநாடி.

7. $OC°$-ல் ஒலியின் வேகம் 332 மீட்டர்/விநாடி. எந்த வெப்ப நிலையில் ஒலியின் வேகம் 345 மீட்டர்/விநாடியாக இருக்கும் என்று கண்டுபிடி. காற்றின் பரும மீட்சிக்குணகம் $= \frac{1}{273}$

8. ஒரு திரவத்தில் ஒலியின் வேகத்திற்கு ஒரு கோவையைக் காண்.

9. காற்றில் மூலக்கூறு எடை $28·8$, $\gamma=1·4$, $R=8·31$ ஜூல் / மூலக்கூறு. $27°C$-யில் காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடு.

6. அலைகளின் மேற்பொருந்தல்

(Superposition of waves)

6·1. மேற்பொருந்தல் கோட்பாடு

மேற்பொருந்தல் கோட்பாடு 'தாமஸ் யங்' (Thomas Young) என்பவரால் முதன் முதலில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இந்தக் கொள்கைதான் குறுக்கீடு, விம்மல்கள், நிலையான அலைகள் போன்றவற்றிற்கு அடிப்படையானது. இது ஒலி, ஒளி, X — கதிர்கள் ஆகிய எல்லாவகை அலைகளுக்கும் பொருந்தும். இந்தக் கொள்கைப்படி ஒரு ஊடகத்தில் இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட அலை இயக்கங்கள் ஒரே நேரத்தில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். ஊடகத்தின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் இவற்றின் தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி (Resultant Displacement), தனித்தனி அலை இயக்கங்களின் இடப்பெயர்ச்சிகளின் குறியியல் கணக்குத் தொகைக்குச் (Algebraic sum) சமமாக இருக்கும்.

Y_1-என்பது ஒரு ஊடகத்தில் ஒரு அலை இயக்கத்தின் இடப் பெயர்ச்சியாக இருக்கட்டும். அதே திசையில் விரையும் மற்றொரு அலை இயக்கத்தின் இடப்பெயர்ச்சி Y_2-எனக் கொள்வோம். இப்போது இரு அலைகளும் ஒரே நேரத்தில் ஊடகத்தில் விரைந் தால் தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி,

$$y = (y_1 + y_2)$$

அலைகள் எதிர்த் திசைகளில் விரைந்தால் தொகுப்பு இடப் பெயர்ச்சி

$$y = (y_1 - y_2)$$

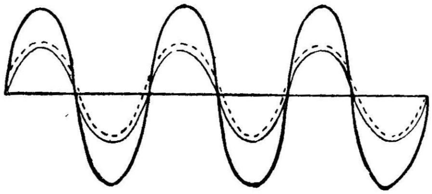
6·2. குறுக்கீடு (Interference)

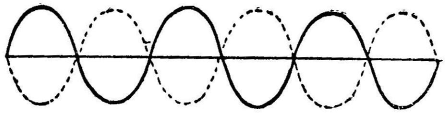
குறுக்கீடு (Interference) என்பது ஒலி, ஒளி, X — கதிர்கள் ஆகியவற்றிற்குப் பொதுவான ஒரு பண்பாகும். இதன்படி ஒரு ஊடகத்தில் இரண்டு அலைகள் விரையும்போது ஒரு புள்ளியில்

தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி (Resultant Displacement) அந்த அலைகளின் இடப்பெயர்ச்சிகளின் குறியியல் கணக்குத் தொகைக்குச் (Algebraic sum) சமமாகும்.

ஒலி இயலிலோ அல்லது ஒளி இயலிலோ இரண்டு அலைகள் ஒரே ஊடகத்தில் விரையும்போது அவற்றின் வலிமைகள் (Intensities) நிலைமைக்குத் தகுந்தவாறு கூட்டல் தொகையாகவோ அல்லது அவற்றின் வேறுபாடாகவோ தோன்றும். இதைத்தான் குறுக்கீடு என்கிறோம்.

இரண்டு ஒலி அலைகள் ஒன்றோடொன்று பொருந்தும்போது அவற்றின் தொகுப்பு வலிமையைக் குறுக்கீடு என்கிறோம். இரண்டு அலைகளும் ஒரு புள்ளிக்கு ஒரே கட்டத்தில் (Same phase) வந்து


(a)


(b)

படம் 44

சேரும்போது தொகுப்பு வீச்சு, இரண்டு அலைகளின் வீச்சுக்களின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாக இருக்கும். இதனால் ஒலியின் வலிமை பெருமதிப்பாக இருக்கும். இதற்கு ஆக்கக் குறுக்கீடு (Constructive Interference) எனப் பெயர். ஒலி அலைகள் ஒரு புள்ளிக்கு எதிர்க் கட்டங்களோடு வந்து சேர்ந்தால் தொகுப்பு வீச்சு, இரண்டு அலைகளின் வீச்சுக்களின் வேறுபாட்டுக்குச் சமமாக இருக்கும். இதனால் ஒலியின் வலிமை சிறுமதிப்பாக இருக்கும். இதற்கு அழிவுக் குறுக்கீடு (Destructive Interference) என்று பெயர். ஆக்கக் குறுக்கீட்டுக்கு இரண்டு அலைகளின் பாதை வேறுபாடு (Path Difference) $\frac{\lambda}{2}$-ன் இரட்டைப் படைப் பெருக்கலாக இருக்க வேண்டும், அழிவுக் குறுக்கீட்டுக்கு $\frac{\lambda}{2}$-ன் ஒற்றைப்படைப் பெருக்கலாக இருக்க வேண்டும். λ-என்பது அலை நீளமாகும்.

இதனால், குறுக்கீடு என்பது கீழ்க்காணும் சில நிபந்தனைகளுக்கு (Conditions) உட்பட்டால்தான் நிகழும்.

1. குறுக்கிடும் இரு அலைகளின் அதிர்வு எண்கள் (அலைவு நேரங்கள்) துல்லியமான சமமாக இருக்க வேண்டும். அப்போது தான் கட்ட வேறுபாடு மாறுமல் இருக்கும். எனவே, இரு அலைகளும் ஒரே ஒலி மூலத்திலிருந்து தோன்றுவது வேண்டும்.

2. ஒலி அலைகள் ஒரே நேர்கோட்டில் விரைய வேண்டும். இல்லாவிடில் ஊடகத்தின் துகள்கள் இலிஸாஜூஸ் படங்களைத் தோற்றுவிக்கும்.

3. இரு அலைகளின் வீச்சுகள் துல்லியமான சமமாக இருக்க வேண்டும். அப்போதுதான் ஒன்றையொன்று அழிக்கும்போது ஒலியற்று அமைதியாக இருக்கும்.

6·3. குறுக்கீடு—பகுப்பாய்வு முறை (Analytical Treatment)

$$y_1 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$$

$$y_2 = b \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) + \phi\right]$$

இவையிரண்டும் இரு ஒலி அலைகளின் இடப்பெயர்ச்சிச் சமன்பாடுகளாகும். இவற்றின் அதிர்வெண்கள் சமம். ஆனால், வீச்சுக்கள் வெவ்வேறுனவை. ϕ என்பது கட்ட வேறுபாடு ஆகும். தொகுப்பு அலையின் (Resultant wave) இடப்பெயர்ச்சி,

$$\begin{aligned} Y &= y_1 + y_2 \\ &= a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) + b \sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) + \phi\right] \\ &= a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) + b \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) \cos \phi \\ &\qquad + b \cos \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) \sin \phi \\ &= \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)\left[a + b \cos \phi\right] + \\ &\qquad \cos \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)\left[b \sin \phi\right] \qquad \ldots\ldots(1) \end{aligned}$$

இந்தத் தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி

$$y = A \sin \left[\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) + \theta \right]$$ எனக் கொள்வோம்.

$$y = A \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) \cos \theta +$$

$$A \cos \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) \sin \theta \qquad \text{......(2)}$$

$\sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$, $\cos \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$ ஆகியவற்றின் குணகங்களைச் சமன்பாடுகள் (1) & (2)-ல் சமமாக்க.

$$a + b \cos \phi = A \cos \theta \qquad \text{......(3)}$$

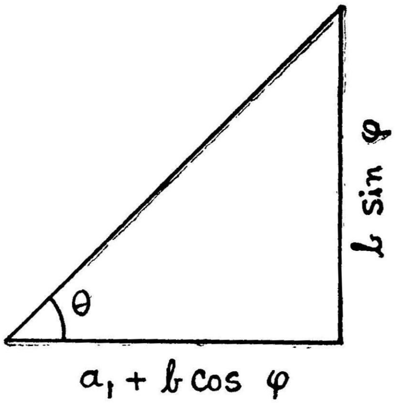
$$b \sin \phi = A \sin \theta \qquad \text{......(4)}$$

(3)ஐயும் (4)ஐயும் இருமடியாக்கிக் கூட்ட

$$a^2 + b^2 + 2ab \cos \phi = A^2$$

$$A = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \cos \phi}$$

$$\tan \theta = \frac{b \sin \phi}{a + b \cos \phi}$$



படம் 45

இதிலிருந்து தொகுப்பு அலையின் அதிர்வு எண், அதே அதிர்வு-எண்ணுகவும், ஆனல் வீச்சு, கட்டம் ஆகியவற்றில் வேறுபட்டிருப்பதையும் காணலாம்.

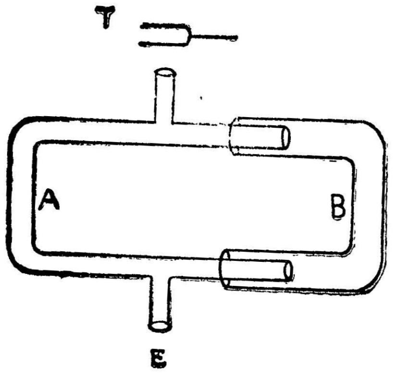
வீச்சுகள் சமமாகவும் ஒரே கட்டத்திலும் இருந்தால்

$a = b;\ \phi = O.$

தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி $= A = 2a$ என ஆகும்.
கட்டம் $\phi = 180°$ ஆனுல், தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி $A = O$ என ஆகும். இதிலிருந்து கட்ட வேறுபாடு ϕயைப் பொறுத்துத் தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி அமைவதைக் காணலாம். தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி A, $(a+b)$ ஆகவோ அல்லது $(a-b)$ ஆகவோ இருக்கும். $(a+b)$ ஆக இருக்கும் போது ஆக்கக் குறுக்கீடு எனவும், $(a-b)$ ஆக இருக்கும்போது அழிவுக் குறுக்கீடு எனவும் கூறுகிறோம்.

6·4 குறுக்கீட்டைச் செயல் முறையில் விளக்குதல் (a) குயின்க்கே குழல் (Quincke's Tube).

இது ஒலியியலில் குறுக்கீட்டைச் செய்முறையில் விளக்குவதற்கு ஏற்றதொரு கருவி. இதில் *A*, *B* என்ற இரு கண்ணுடிக் குழல்கள் உள்ளன. இவை படத்தில் (படம் 46) காட்டியுள்ளது போல் ‘ப’ வடிவில் வளைக்கப்பட்டு உள்ளன.



படம் 46

ஒரு குழல் மற்றென்றிற்குள் செல்லுமாறு அமைந்திருக்கின்றன. *T* என்ற இசைக்கவை அதிர்வு அடையச் செய்யப்பட்டு பக்கக் குழலின் மேல் பிடிக்கப்படுகின்றது. இசைக்கவையில் இருந்து ஒரு தூய்மையான சுரம் தோன்றுகிறது. பக்கக்குழல் கருவியை இரு கிளைகளாகப் பிரிப்பதால், ஒலி அலைகள் *TAE*, *TBE* ஆகிய இரு பாதைகளில் செல்லுகின்றன. எதிர்ப்புறத்திலுள்ள ‘*E*’ என்ற பக்கக் குழலை செவியருகில் வைத்து ஒலியைக் கேட்கலாம். இந்த இரு பாதைகளிலும் செல்லும் ஒலி அலைகள் ஒரே மூலத்திலிருந்து வருவதால் அவற்றின் வீச்சும் அதிர்வெண்ணும் சம

மானவை. E என்ற பக்கக் குழலில் அவை குறுக்கீட்டுக்கான தகுதிகளைப் பெற்றுள்ளன. 'B' என்ற குழல் இப்போது Aயின் மீது செல்லுமாறு சற்று நகர்த்தப்படுகிறது. இதனால் TAE, TBE என்ற இரு பாதைகளும் மாற்றப்படுகின்றன. இவை சமமாக இல்லாவிட்டால் ஒரு பாதை வழியே வரும் ஒலியலை மற்றதைவிட முன்பே வந்துவிடும். மற்றொரு அலை நீண்ட பாதையில் வருவதால் சற்று காலம் தாழ்த்தி வரலாம். இதனால் இரு அலைகளுக்கு மிடையே ஒரு பாதை வேறுபாடு தோன்றும். இந்தப் பாதை வேறுபாடு A, B என்ற குழல்களின் நீளத்தைப் பொறுத்து அமையும்.

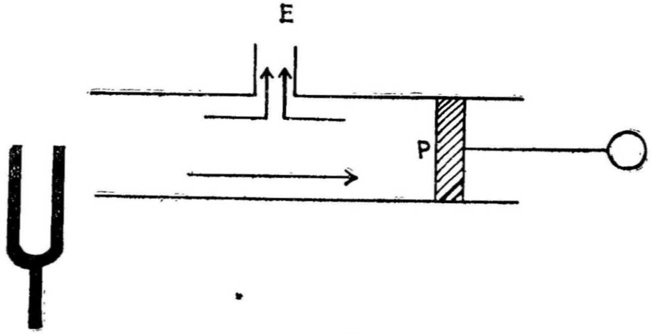
பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$-ன் இரட்டைப்படை பெருக்கலாக இருந்தால் E-யில் வீச்சுகள் ஒன்றுகூடி ஆக்கக் (கூட்டுக்) குறுக்கீடு நிகழும். எனவே, ஒலி செவியில் மிகுந்து கேட்கும். பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$-ன் ஒற்றைப்படை பெருக்கலாக இருந்தால் E-யில் அழிவுக் குறுக்கீடு நிகழ்ந்து எந்த ஒலியும் கேட்காது. B-என்ற குழலைத் தொடர்ந்து நகர்த்தினால் மிகுஒலி விட்டு விட்டுக் கேட்கும். இதனால் ஒலிஅலைக் குறுக்கீடுச் செயல் முறையில் விளக்கப்படுகின்றது.

இதே குயின்க்கே குழலைப் பயன்படுத்திக் காற்றில் ஒலியின் திசை வேகத்தைக் கணக்கிடலாம்.

(b) சிபெக் குழல் (Seebeck's Tube)

இது குறுக்கீடு பண்பைச் செயல் முறையில் விளக்கப் பயன் படும் ஒரு எளிய கருவியாகும். இதில் ஒரு உள்ளீடற்ற நீள் உருளை வடிவமான ஒரு குழல் உள்ளது. இத்துடன் நகரக்கூடிய ஒரு பிஸ்டன் (P) பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இதற்கு E என்ற ஒரு பக்கக் குழலும் உண்டு. நீள் உருளைக் குழலின் வாய் அருகில் ஓர் அதிரும் இசைக்கவை வைக்கப்படுகிறது. இசைக் கவையிலிருந்து ஒரு தூய்மையான சுர ஒலி கேட்கும். பக்கக் குழல் E அருகே செவியை வைத்துக் கேட்க இந்த ஒலி கேட்கும். பிஸ்டன் P-யை முன்னால் அல்லது பின்னால் நகர்த்தினால் ஒலியின் பாதை மாறு படும். இசைக்கவையிலிருந்து விரையும் ஒலி அலைகள் Eக்கு நேராக வும், பிஸ்டன் P-யில் எதிரொலிக்கப்பட்டும் வந்தடைகின்றன. இவை ஒரே கட்டத்தில் பாதை வேறுபாடின்றி வந்தடைந்தால் கூட்டுக் குறுக்கீடு நிகழ்ந்து E-ல் மிகு ஒலி கேட்கும். பிஸ்டனைச் சற்றுத் தொலைவு நகர்த்தும்போது பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$-ன் ஒற் றைப்படையாக அமைந்தால் அழிவுக் குறுக்கீடு நிகழ்ந்து ஒலி

கேட்காது. ஏனெனில், இசைக்கவையில் இருந்து வரும் ஒலி அலைகள் சம வீச்சும், அதிர்வெண்ணும் கொண்டவை. குறுக்கீட்டிற்கான தகுதிகள் படைத்தவை. பக்கக் குழல் *E*-அருகே



படம் 47

செவியை வைத்துப் பிஸ்டனை மெதுவாக நகர்த்தினல் மிகு ஒலியும், அமைதி நிலையும் மாறி மாறிக் கேட்கும். இது குறுக்கீட்டிற்கு ஒரு நல்ல செயல் முறை விளக்கமாகும்.

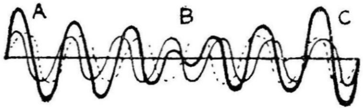
6·5 விம்மல்கள் (Beats)

ஒரே திசையில் ஒரே வீச்சும் ஏறத்தாழ சமமான அதிர்வெண்ணும் உடைய இரு சீரியல்பு இயக்க அலைகள் (Simple Harmonic Waves) விரையும்போது அவை ஒன்றின்மேலொன்று பொருந்துகின்றன.

இதனால் தொகுப்பு வீச்சு ஊடகத்தில் இடத்துக்கு இடம் தொடர்ந்து மாறுபடுகின்றது. ஒரே இடத்தில் நேரத்திற்கு நேரமும் மாறுபடும். தொடக்கத்தில் இரு அலைகளும் ஒரே கட்டத்தோடு கிளம்பினல் தொகுப்பு வீச்சு, இரு அலைகளின் வீச்சுக்களின் கூட்டுத்தொகைக்கு, அந்தப் புள்ளியில், அந்தக்கணத்தில் சமமாக இருக்கும். நேரம் ஆக ஆக இரு அலைகளும் ஒன்றன்பின் ஒன்றுகச் செல்லத்துவங்கும். ஏனெனில், அவற்றின் அலை நீளங்கள் சற்று வேறுபாடானவை. குறைந்த அலை நீளமுடைய அலை பின்னும், மிகுந்த அலை நீளமுடைய அலை முன்னுமாகச் செல்லும். ஒரு குறிப்பிட்ட நேரம் கழித்து ஒரு அலை மற்றொரு அலைக்கு $\frac{\lambda}{2}$ தொலைவு பின்தங்கி விடும். இப்போது அவை எதிர்க் கட்டத்தில் இருக்கும். ஒன்றின் இறுக்கம் (Compression) மற்றொன்றின் விரிவோடு (Rarifaction) மேற் பொருந்தும். எனவே, இவை ஒன்றையொன்று அழித்து ஒலியின் வலிமையைச் சுழியாக ஆக்கி

விடும். அடுத்து ஒரு ஒலி அலை மற்றொன்றைவிட λ தொலைவு பின் தங்கும்போது அவை மீண்டும் ஒரே கட்டத்தில் இருக்கும். இப்போது இறுக்கத்தோடு இறுக்கமும், விரிவோடு விரிவும் மேற் பொருந்துவதால் அந்த இடத்தில் மிகு ஒலி கேட்கும். இதேபோல் ஒலியின் தொகுப்பு வலிமை குறைந்தும் மிகுந்தும் கேட்பதைக் கேட்கலாம். அடுத்து அடுத்து சீரான இடைவெளியில் ஒலி குறைந்தும், மிகுந்தும் கேட்கும் பண்பை விம்மல்கள் எனக் கூறுகின்றோம். ஒரு விநாடியில் குறைந்தும் மிகுந்தும் கேட்கும் எண்ணிக்கை, விம்மல்களின் எண்ணிக்கை எனப்படும். இது அதிர்வு எண்களின் வேறுபாட்டைப் பொறுத்து அமையும்.

விம்மல்கள் தோன்றும் முறையை கீழ்க்காணும் படம் விளக்குகிறது.



படம் 48

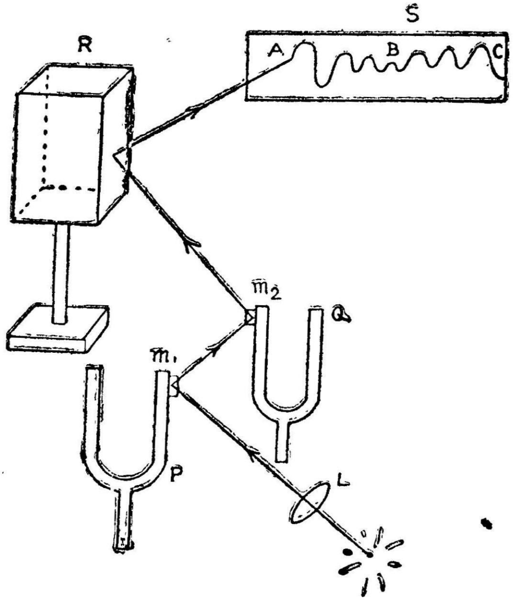
இதில் ஒரே வீச்சுடைய ஏறத்தாழ சம அதிர்வெண் உடைய இரு அலைகள் காண்பிக்கப்பட்டு இருக்கின்றன. இவை ஒரே திசையில் விரைகின்றன. *A*-என்ற புள்ளியில் அவை துவக்கத்தில் ஒரே கட்டத்தோடு கிளம்புகின்றன. எனவே, *A*-யில் ஒலியின் வலிமை மிகுந்து இருக்கும். *B*- என்ற புள்ளியில் அவை எதிர்க் கட்டத்தில் சந்திக்கின்றன. எனவே, அங்கு ஒலியின் வலிமை சுழியாக இருக்கும். மீண்டும் *C*-என்ற புள்ளியில் அவை ஒரே கட்டத்தில் ஒன்றோடொன்று பொருந்தி மிகு ஒலியைத் தோற்றுவிக்கின்றன. ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்திற்குப் பிறகு ஒரு அலை மற்றொரு அலையைவிட அரை அலைவு நேரம் பின் தங்கும். இப்போது மிகு ஒலி நிலை *A*-யும் சுழி ஒலிநிலை *B*-யும் இடம் மாற்றிக்கொள்ளும். மேலோட்டமாகப் பார்க்கும் பொழுது ஒலிக் குறுக்கீடும், விம்மல்களும் ஒரே மாதிரி தோன்றும். ஆனால், இவற்றிற்கிடையே நல்ல வேறுபாடு உண்டு. குறுக்கீட்டில் ஒரு புள்ளியில் எல்லா நேரங்களிலும் மிகு ஒலியோ அல்லது குறை ஒலியோ கேட்கும். விம்மல்களில் ஒரே புள்ளியில் மிகு ஒலியும், குறை ஒலியும் மாறி மாறி கேட்கும்.

6·6. விம்மல்களைச் செயல்முறையில் விளக்குதல்

விம்மல்கள் தோன்றுவதைச் செயல்முறையில் விளக்கலாம். (a) ஒரே அதிர்வெண் உடைய இரு இசைக்கவைகளை எடுத்துக் கொள்வோம். அவை ஒத்ததிர்வுப் பெட்டிகளின்மேல் பொருத்தப்

பட்டிருக்க வேண்டும். ஒத்ததிர்வுப் பெட்டிகளின் திறந்த பக்கம் ஒன்றையொன்று நோக்குமாறு அவற்றை மேஜையின் மீது வைக்கவேண்டும். இரு இசைக்கவைகளும் ஒரே நேரத்தில் அதிர்வடைய வைக்கப்பட்டால் ஒலியின் வலிமையில் (Intensity) ஏற்றம் இறக்கம் இல்லாமல் ஒரே சீராகக் கேட்கும். ஓர் இசைக்கவையின் அதிரும் முள் (Prong) ஒன்றுக்குச் சிறிது மெழுகு ஒட்டவும். அதன் அதிர்வெண் சிறிதளவு குறைந்திருக்கும். இப்போது இரு இசைக்கவைகளையும் மீண்டும் ஒரே நேரத்தில் அதிரும்படிச் செய்தால் விம்மல்கள் கேட்கும். மெழுகின் அளவை மாற்றி விம்மல்களின் எண்ணிக்கையை மாற்றலாம்.

(b) அதிரும் இசைக்கவை ஒரு சோனா மீட்டர் பெட்டியின் மேல் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அதே நேரத்தில் சோனாமீட்டர் கம்பி அதிர்வடையும்படிச் செய்யப்படுகிறது. இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணும் சோனாமீட்டர் கம்பியின் அதிர்வெண்ணும் ஏறத்தாழ சமமாக இருந்தால் விம்மல்கள் நன்றாகக் கேட்கும். [இந்த முறையைப் பயன்படுத்தி கம்பியின் அதிர்வை மிகத் துல்லியமாகச் சரி செய்யலாம்.]



படம் 49

(c) விம்மல்களின் வரைகோட்டை ஒரு ஒளி அமைப்பால் (படம் 49) விளக்கலாம். மின்னேட்டத்தால் காக்கப்படும்

P, *Q* என்ற இரு இசைக்கவைகள் செங்குத்தாக ஒன்றுக்கொன்று இணையாக நிறுத்தி வைக்கப்படுகின்றன. இசைக்கவைகளின் முனைகளில் சிறிய சமதள ஆடித்துண்டுகள் (Plane mirror Strips) ஒன்றையொன்று நோக்குமாறு படத்தில் உள்ளதுபோல் பொருத்தப்படுகின்றன. ஒரு ஆற்றல் மிகுந்த வில் விளக்கிலிருந்து ஒளி '*L*' என்ற குவிவில்லையால் M_1—மீது படும்படி செய்யப் படுகிறது. M_1, M_2 இணையாக இருப்பதால் ஒளி M_1-ல் எதிரொளிக் கப்பட்டு M_2-ல் படும். M_2-விலும் எதிரொளிக்கப்பட்டுத் திரும்பும் ஒளிக்கற்றை *R*-என்ற ஒரு சுழலும் சமதள ஆடிமீது படுமாறு செய்யப்படுகிறது. சுழலும் ஆடிக்கு முன்னால் ஒருதிரை வைக்கப்படுகின்றது. இந்தத் திரையில் சுழலாடியால் எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளிக்கற்றை விழும். இது ஒரு புள்ளியாக (Spot) இருத்தல் வேண்டும். இசைக்கவை '*P*' அதிரும்போது ஒளிப்புள்ளி (Spot of Light) ஒரு பட்டையாகப் (Band) பரவும். இசைக்கவை *Q*-வும் இதே நேரத்தில் அதிர்வு அடைந்தால் இந்த ஒளிப்பட்டை இசைக்கவை அதிர்வுகளின் கட்டங்களைப் பொறுத்து இன்னும் அகன்றோ, குறுகியோ செல்லும். இப்போது ஓர் இசைக்கவைக்குச் சிறிது மெழுகை ஒட்டி அதன் அதிர்வெண் சிறிது குறைக்கப்படுகிறது. மீண்டும் இசைக்கவைகள் ஒரே நேரத்தில் அதிர்வடையச் செய்யப்படுகின்றன. விம்மல்கள் நம் செவிக்கு நன்றாகக் கேட்கும். சுழலும் ஆடி ஒரே சீராகச் சுற்றப் பட்டால் திரையின்மீது ஒரு ஒளிக்கோடும் வரையப்படும். இது விம்மல் வரைகோடு (Beat curve) எனப்படும். இதனால் ஒலியின் வலிமை மிகுந்து குறைவதை நன்றாகக் காணலாம்.

6·7. விம்மல்களின் பகுப்பாய்வு முறை (Analytical treatnent)

ஒரே திசையில் விரையும் '*a*' வீச்சுடைய இரு சீரியல்பு அலைவுகளை எடுத்துக் கொள்வோம். அவற்றின் அதிர்வெண்கள் n_1, n_2 ஆகும். இவை ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்று சற்று வேறு பட்டது.

$$y_1 = a \sin \omega_1 t$$

$$= a \sin 2\pi\, n_1 t$$

$$y_2 = a \sin \omega_2 t$$

$$= a \sin 2\pi\, n_2 t$$

இவை ஒரே கட்டத்தோடு தொடங்குகின்றன. அவை ஒன்றோடொன்று மேற்பொருந்தும் போது, தொகுப்பு இடப் பெயர்ச்சி

$$y = y_1 + y_2$$
$$= a \sin 2\pi\, n_1 t + a \sin 2\pi\, n_2 t$$
$$= 2a \sin 2\pi t \left(\frac{n_1 + n_2}{2}\right) \cos 2\pi t \left(\frac{n_1 - n_2}{2}\right)$$
$$y = \left[2a \cos 2\pi t \,\frac{(n_1 - n_2)}{2}\right] \sin 2\pi t \left(\frac{n_1 + n_2}{2}\right)$$

இதை ஒரு படித்தர அலை சமன்பாட்டோடு (Standard wave equation) ஒப்பிட்டுப் பார்க்கும்போது, இதுவும் ஒரு சீரியல்பு அலையையேக் குறிக்கிறது. இந்தத் தொகுப்பு அலையின் வீச்சு

$$R = 2a \cos 2\pi t \left(\frac{n_1 - n_2}{2}\right)$$

இந்த வீச்சின் மதிப்பு, நேரம் t-ஐப்பொறுத்து அமைந்திருப் பதைக் காணலாம். எனவே, நேரம் செல்லச் செல்ல இந்த வீச்சின் மதிப்பு மாறுபடும். சில நேரங்களில் இது பெரு மதிப்பையும் சில நேரங்களில் இது சிறு மதிப்பையும் பெற்றிருக்கும்.

பெருமதிப்பிற்கான தகுதி (Condition for maxima)

வீச்சின் மதிப்பு பெருமதிப்பாக இருக்க,

$$\cos 2\pi t \left(\frac{n_1 - n_2}{2}\right) = \pm 1$$

$$2\pi t \left(\frac{n_1 - n_2}{2}\right) = 0,\ \pi,\ 2\pi,\ \ldots\ldots$$

அல்லது $t = 0, \dfrac{1}{n_1 - n_2}, \dfrac{2}{n_1 - n_2}, \ldots\ldots$

$$= \frac{K}{n_1 - n_2}$$

$$K = 0,\ 1,\ 2, \ldots\ldots$$

எனவே, தொகுப்பு அலையின் வீச்சு,

நேரம் $t = 0, \dfrac{1}{n_1 - n_2}, \dfrac{2}{n_1 - n_2}, \ldots\ldots (1)$

ஆக இருக்கும்போது பெருமதிப்பாக ($= 2a$) இருக்கும். இரண்டு அடுத்தடுத்த பெருமதிப்புகளுக்கு இடைப்பட்ட நேரம்

$= \dfrac{1}{n_1 - n_2}$ ஆகும்.

சிறுமதிப்பிற்கான தகுதி (Condition for minima)

வீச்சின் மதிப்பு சிறுமதிப்பாக இருக்க,

$$\text{Cos } 2\pi t \left(\frac{n_1 - n_2}{2} \right) = 0$$

$$2 \pi t \left(\frac{n_1 - n_2}{2} \right) = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$t = \frac{1}{2(n_1 - n_2)}, \frac{3}{2(n_1 - n_2)}, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$t = \frac{2k + t}{2(n_1 - n_2)} \qquad k = 0, 1, 2, 3, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

எனவே சிறுமதிப்பு

$$t = \frac{1}{2(n_1 - n_2)}, \frac{3}{2(n_1 - n_2)}, \qquad \ldots\ldots(2)$$

ஆகிய நேரங்களில் தோன்றும்.

இரு அடுத்தடுத்த சிறுமதிப்புகளுக்கு இடைப்பட்ட நேரம் $= \frac{1}{n_1 - n_2}$. சமன்பாடுகள் (1), (2)-லிருந்து சிறு மதிப்பும், பெருமதிப்பும் நேரத்தைப் பொறுத்தவரை சம இடைவெளிகளில் தோன்றுகின்றன. இரு பெருமதிப்புகளுக்கு இடையே ஒரு சிறு மதிப்பு தோன்றுகிறது.

சிறு மதிப்பும், பெருமதிப்பும் மாறி மாறிச் சம இடைவெளி நேரங்களில் தோன்றுகின்றன. இரண்டு அடுத்தடுத்த பெரு மதிப்புக்கோ, சிறுமதிப்புக்கோ இடைப்பட்ட நேரம் $\frac{1}{n_1 - n_2}$ விநாடிகள் ஆகும். எனவே, ஒரு விநாடிக்கு $(n_1 - n_2)$ தடவைகள் ஒலி விம்மல்கள் தோன்றும்.

∴ விம்மல்களின் எண்ணிக்கை/விநாடிக்கு $= (n_1 - n_2)$. இந்த வேறுபாடு $(n_1 - n_2)$, 10க்கு மேற்படாமல் இருந்தால்தான் நாம் விம்மல்களைச் செவியால் கேட்க முடியும்.

6·8. விம்மல்களின் பயன்கள்

1. இசைக்கவையின் அதிர்வு எண்ணைக் கணக்கிட

ஏறத்தாழ சமமான அதிர்வுஎண் உடைய இரு இசைக்கவை கள் ஒரே நேரத்தில் ஒலிக்கும்போது அவை விம்மல்களைத் தோற்று

விக்கின்றன. இவை தோற்றுவிக்கும் விம்மல்கள் எண்ணப்படு கின்றன. எண்ணிக்கை X-எனக் கொள்வோம். ஒரு இசைக் கவையின் அதிர்வு எண் 'N' நமக்குத் தெரிந்தால் மற்றதின் அதிர்வு எண் $N+X$ அல்லது $N-X$ ஆகும். இதில் எது சரியானது எனக்காண அதிர்வுஎண் தெரியாத இசைக்கவையின் ஒருகாலில் சிறிது மெழுகு ஒட்டப்படுகிறது. இதனால் அந்த இசைக்கவையின் அதிர்வு எண் குறையும். ஆகவே, மீண்டும் இரு இசைக்கவை களும் ஒலிக்கப்பட்டால் விம்மல்களின் எண்ணிக்கை 'X' கூடவோ அல்லது குறையவோ செய்யும். தெரியாத அதிர்வுஎண் 'N'-ஐ விட அதிகமாக இருந்தால் இப்போது விம்மல்கள் குறையும். N-ஐவிடக் குறைவாக இருந்தால் விம்மல்கள் அதிகமாகும். அதிர் வெண் தெரியாத இசைக்கவையில் மெழுகு ஒட்டப்படுவதற்கு முன்னும் பின்னும் விம்மல்களை எண்ணி அதன் அதிர்வுஎண் கணக் கிடப்படுகிறது.

2. இசைக்கருவிகளை இசைவு செய்தல்

சிதார், ஆர்கான் குழல், பியானோ போன்ற இசைக் கருவி களின் அதிர்வெண்களைச் சரிசெய்ய விம்மல்கள் பயன் படுகின்றன. அதிர்வெண் தெரிந்த மற்றொரு ஒலியோடு இசைக்கருவி ஒலிக்கப்படுகிறது. அதிர்வெண்கள் ஏறத்தாழ ஒன்றாய் இருந்தால் விம்மல்கள் கேட்கும். நரம்புக் கருவியாக இருந்தால் கம்பியின் நீளத்தையோ, ஆர்கான் குழலாயிருந்தால் காற்றுத் தம்பத்தின் நீளத்தையோ மாற்றி விம்மல்கள் மறையும்படி செய்ய லாம். இதற்கு இசைவு செய்தல் (Tuning) எனப்பெயர்.

3. சுரங்கங்களில் துன்பந்தரும் வாயுக்களைக் கண்டுபிடித்தல்

இது விம்மல்களின் மிக முக்கியமான ஒரு பயனாகும். சுரங்கங் களின் உள்ளே துன்பந்தரக்கூடிய வாயுக்கள் இருக்கின்றனவா எனக் கண்டுபிடிக்க இது உதவுகிறது. இதற்காக இரண்டு ஒரே அளவுள்ள ஆர்கான் குழல்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஒன்றில் உலர்ந்த தூயகாற்றும் மற்றொன்றில் சுரங்கத்திலுள்ள வாயுக்கள் நிரம்பிய காற்றும் நிரப்பப்படுகின்றன. இந்த இரு ஆர்கான் குழல்களும் ஒரே நேரத்தில் ஒலிக்கப்படுகின்றன. சுரங்கக்காற்று தூய்மையாக உலர்ந்து இருந்தால் விம்மல்கள் கேட்கா. சுரங்கக் காற்று தூய்மையற்று இருந்தால் ஒலியின் வேகம் மாறுபடும். அத்தோடு அதிர்வு எண்ணும் மாறுபடும். எனவே, விம்மல்கள் தோன்றும். இது சுரங்கத்திற்குள்ளே செல்லுபவர்களுக்குத் துன்பம் தோற்றுவிக்கும் வாயு இருப்பதை முன்கூட்டியே அறி விக்கும் ஒரு பயனுள்ள முறை.

4. வானொலிப்பெட்டியைச் (Radio) சரிசெய்தல்

கலந்து பிரிக்கும் (Hetrodyne) முறையில் செயல்படும் வானொலி அலைவாங்கி (Receiver)யில் இந்த விம்மல்கள் பயன்படுகின்றன. உள்ளேவரும் அதிர்வெண் மிகுந்த அலை, அலைவாங்கியின் உள்ளேயே தோற்றுவிக்கப்படும் சற்று மாறுபட்ட அதிர்வெண் உடைய அலையோடு கலக்கப்படுகிறது. இவையிரண்டும் ஒன்றுகூடி செவிகேட்கும் எல்லைக்குட்பட்ட அதிர்வெண்ணுடைய ஒலியைத் தோற்றுவிக்கும்.

5. மிகு அதிர்வெண்ணுடைய அலை இயற்றி (High frequency oscillator)

மேற்சொன்ன கலக்கு முறையில் மிக அதிகமாக அதிர்வெண்ணுடைய அலைகள் விம்மல்கள் அடிப்படையில் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. இதற்கு விம்மல் அதிர்வெண் அலை இயற்றி (Beat frequency oscillator) எனப் பெயர்.

6·9. விம்மல்களுக்கும், குறுக்கீடுகளுக்கும் உள்ள வேறுபாடு

விம்மல்கள்	குறுக்கீடு
1. ஒரே திசையில் விரையும் இரு அலைத்தொடர்களின் மேற்பொருந்துதலால்தான் விம்மல்கள் தோன்றுகின்றன.	1. ஒரே திசையில் அல்லது எதிர்த்திசையில் விரையும் அலைத்தொடர்களின் மேற்பொருந்துதலால் குறுக்கீடு தோன்றும்.
2. இரு அலைதொடர்களின் அதிர்வு எண்கள் சிறிது வேறுபட்டிருக்க வேண்டும்.	2. இரு அலைத்தொடர்களின் அதிர்வு எண்கள் துல்லியமாகச் சமமாக இருக்கவேண்டும்.
3. மிகு ஒலியும், குறை ஒலியும் கொண்ட விம்மல்கள் ஒலி வேகத்தில் எல்லா இடங்களுக்கும் பரவி கேட்கப்படுகின்றன. எல்லா இடங்களிலும் குறிப்பிட்ட நேரங்களில் ஒலி மிகுவதும், குறைவதும் கேட்கப்படும்.	3. குறுக்கீட்டில் பெரும ஒலி கேட்கும் நிலைகளும், சிறும ஒலி கேட்கும் நிலைகளும் தனித்தனியே இருக்கும். பெரும ஒலி கேட்கும் நிலையில் எல்லா நேரங்களிலும் பெரும ஒலியே கேட்கும். சிறும ஒலி நிலையில் எல்லா நேரங்களிலும் சிறும ஒலியே கேட்கும்.

அட்டவணை தொடர்ச்சி

விம்மல்கள்	குறுக்கீடு
4. ஒருகுறிப்பிட்ட புள்ளியில் கட்ட வேறுபாடு தொடர்ந்து (மிகு ஒலியும் குறைஒலியும் கொடுக்க) O-வுக்கும் ф க்கும் இடையே தொடர்ந்து மாறிக் கொண்டு இருக்கும்.	4. ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில் எல்லா நேரங்களிலும் மாறுமல் கட்டவேறுபாடு ஒரே மதிப்புடையதாய் இருக்கும். சில புள்ளிகளில் அலைத்தொடர்கள் ஒரே கட்டத்தில் வந்து பெரும ஒலியைத் தோற்றுவிக்கும். மற்ற புள்ளிகளில் எதிர்க்கட்டங்களால் தோன்றி சிறும ஒலியைக் கொடுக்கும்.
5. ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில் தொகுப்பு அதிர்வின் வீச்சு, குறிப்பிட்ட கால இடைவெளியில் உயர்ந்தும், வீழ்ந்தும் மாறுபடுகிறது.	5. ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில் வீச்சு மாறுமல் இருக்கும். தொகுப்பு அதிர்வின் வீச்சு புள்ளிக்குப் புள்ளி மாறிக் கொண்டே செல்லும்.

6·10· கூட்டோசைகள் (Combination Tones)

இதற்கு முன்பு விம்மல்கள் தோன்றும் விதத்தைக் கண்டோம். இதில் சிறிய வீச்சுகளையுடைய இரு ஒலி அலைகள் ஒன்றின்மேலொன்று பொருந்தும்போது அதிர்வெண்கள் சற்று வேறுபாடாக இருந்தால் விம்மல்கள் தோன்றுகின்றன. ஏனெனில் தொகுப்பு அலையின் வீச்சு பொருந்தும் அலைகளின் தனித்தனி வீச்சுகளின் கூட்டுத் தொகையோ அல்லது வேறுபாடோ ஆகும். இங்கு மீட்புவிசை (Restoring force) இடப்பெயர்ச்சிக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கின்றது. எனவே, கூட்டல், வெக்டார் விதிக்கு உட்பட்டது. ஆனல், வீச்சுகள் மிகுந்த (Large amplitude) நீண்ட நேரம் இருக்கும் ஒலி அலைகள் இந்த கூட்டல் விதிக்கு உட்படாது. பொதுவாக ஒன்றின்மேலொன்று பொருந்தி, தொகுப்பு வீச்சு கண்டுபிடிக்கும் முறை பயன்படாது. வலிமை மிகுந்தும் நீண்டநேரம் கேட்கக் கூடியதுமான இரண்டு தூய்மையான ஒலிச்சுரங்கள் ஒலிக்கப்பட்டால் இச்சுரங்களுடன் இதைத்தவிர மாறுபட்ட அதிர்வெண்ணுடைய சுரங்களும் அவற்றின்மேல் சுரங்களும் கூடவே கேட்கும். இவற்றைக் கூட்டோசைகள் (Combination Tones) என்கிறோம். இதை

டார்ட்டினி (Tartini) என்ற இத்தாலிய வயலின் மேதை கண்டு பிடித்தார். இவற்றிற்கு 'டார்ட்டினி ஓசைகள்' என்றுகூடப் பெயர்.

n_1, n_2 அதிர்வெண்களும் மிகு வீச்சுகளும் உடைய இரு ஒலி அலைகள் ஒரே நேரத்தில் ஒலிக்கப்பட்டால், n_1, n_2 அதிர்வெண் களையுடைய சுரங்களுடன்கூட (n_1-n_2), (n_1-2n_2), (n_1-3n_2) ஆகிய சுரங்களும் கேட்கும். இவை முறையே முதல் பகுவோசை (First Differential tone), இரண்டாவது பகுவோசை, மூன்ருவது பகுவோசை எனப்படுகின்றன. இவைதான் டார்ட்டினியால் கண்டு பிடிக்கப்பட்டவை. பின்பு ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸ் (Helmholtz) என்பவர் மேற்சொன்ன சுரங்களுடன்கூட (n_1+n_2), (n_1+2n_2), (n_1+3n_2) ஆகிய அதிர்வெண்களுடைய சுரங்களும் கூடவே கேட்கின்றன எனக் கண்டறிந்தார். இவை மிகுவோசைகள் (Summational tones) எனப்படும்.

முதல் பகுவோசை, முதன்மைச் சுரங்களை (Primaries) விட வலிமை குறைந்தது. ஆனல், செவிக்குக் கேட்கும் அளவு இருக்கும். இரண்டாவது, மூன்ருவது பகுவோசைகள் இன்னும் குறைந்த வலிமை உடையவை. எனவே, செவியில் கேட்பதில்லை. மிகுவோசை (n_1+n_2) மிகவும் வலிமையற்றது. இதுவும் செவியில் கேட்பதில்லை. பகுவோசைகள் செவியில் கேட்க வேண்டுமானல் ஏறத்தாழ சமமான அதிர்வெண்களையுடைய வலிமைமிக்க ஒலிச் சுரங்கள் எழுப்பப்பட வேண்டும். மிகுவோசைகள் செவியால் கேட்கப்பட வேண்டுமென்ருல் வலிமை குறைந்த, (Major fifth) பெரிய ஐந்தாவது போன்ற இடைவெளி உடைய சுரங்கள் எழுப்பப்பட வேண்டும்.

கூட்டோசைகளின் கொள்கை (Theory of Combination tones)

[சமச் சீரற்ற அலைவுகள் (Asymmetric Vibration)]

ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸ் மிகுவோசைகளைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு முன்னல் கூட்டோசை அகவுணர்வு நிலையில் (Subjective) தோன்றுவது என நம்பப்பட்டது. ஏனெனில், பகுவோசைகள் பொதுவான விம்மல்களாகவே உணரப்பட்டன. இந்த விம்மல்கள் விரைவாக ஏற்பட்டால் ஒலிவலிமை மிகுந்து குறைவது ஒரு புதிய சுரத்தைத் தோற்றுவிக்கும். நம்முடைய செவியால் சீரியல்பில் உள்ள ஒலிகளைத்தான் கேட்க முடியும். எனவே, மிகுவோசைகளை விளக்க ஒரு புதியமுறை கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸ் இந்த மிகுவோசைகள் புறப்பொருள்களில் (Objective) தோன்றுகின்றன எனக் கொண்டார். ஒரே நிறையுடைய காற்று

மிக விரைவாக இரண்டு எளிய சுரங்களால் ஒரே நேரத்தில் அதிர வைக்கப்படும்போது கூட்டோசைகள் தோன்றுகின்றன என அவர் காட்டினார். இங்கு மீட்புவிசை (Restoring force) இடப்பெயர்ச்சிக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்காது. இதை,

$$f = Ay + By^2 + Cy^3 + \ldots\ldots$$

என எழுதலாம். இடப்பெயர்ச்சிகள் y^2, y^3 ஆகியவற்றைத் தள்ளிவிடலாம். ஆனால், உரத்த ஒலிகள் வரும்போது இவற்றை தள்ள முடியாது. எனவே,

$$\frac{df}{dy} = A + 2By + 3Cy^2 + \ldots\ldots$$

அதிர்வின் அதிர்வெண் n காண

$$n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\text{முடுக்கம்}}{\text{இடப்பெயர்ச்சி}}}$$

$$n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{df}{dy}}$$

$$\text{or } 4\pi^2 n^2 = \frac{df}{dy} = A + 2By + 3Cy^2 + \ldots\ldots$$

Y-ன் குறியீடு (Sign), மாறாமல் இருக்கும்போது Y^2 சமன்பாட்டில் இருக்கும் Y-ன் குறியீடு மாறும்போதும் Y^2 இருக்கும். ஆனால், f-ன் குறியீடும் N-ன் மதிப்பும் மாறிவிடும். இந்த அமைப்பு முறைக்கு (System) சமச்சீரற்ற அமைப்புமுறை (Asymmetric) எனப் பெயர். இங்கு n என்பது மாறாமல் இருந்து y-அதன் குறியீட்டை மாற்றினால் 'y^2' மறைந்து விடும். இப்போது இது சமச்சீர் அமைப்பு முறை (Symmetric system) எனப்படும்.

வாட்ஸ்மென் (Waetzmann) என்பவர் நம்முடைய செவி இத்தகைய ஒரு சமச்சீரற்ற அமைப்பு என்று கூறினார். செவிப் பறையில் விழும் அதிர்வுகளின் ஒரு பகுதி திருத்தப்படுகிறது. ஏனெனில் காது எலும்புகள் காதுச்சவ்வின் ஒரு பக்கத்தில் சமச்சீரற்றுச் சுமையாக உள்ளன. இப்போது ஒரு சமச்சீரற்ற அமைப்பு முறையைக் (Asymmetric) கண்டோம். இது இரு சீரியல்பு விசைகளுக்கு (Simple harmonic Forces) உட்படுத்தப் படுகிறது. தடைப்படுத்தும் விசைகளைத் தள்ளிவிட்டால் இயக்கச் சமன்பாடு,

$$\frac{d^2y}{dt^2} + n^2y + \alpha y^2 = f\cos Pt + g\cos(qt - \beta).$$

P, Q - என்பவை இரு அதிர்வுகளின் இயல்பு அதிர்வு எண்களாகும்.

$\frac{n}{2\pi}$ என்பது செவியின் அதிர்வு எண். இந்தச் சமன்பாட்டிற்குப் பொதுவான தீர்வு (Solution).

$$y = A\cos Pt + B\cos(qt - B) + C + D\cos 2Pt.$$
$$+ E\cos(2qt - B) + F\cos[(P+q)t - B]$$
$$+ G\cos[(P-q)t + B]$$

A, B, C, D என்பவை மாறிலிகள்.

இந்தத் தீர்விலிருந்து, தொகுப்பு அதிர்வில்,

(a) *P, q* அதிர்வெண்களையுடைய இரு முதன்மைச் சுரங்கள்.

(b) *2P, 2q* அதிர்வெண்களையுடைய இரு முதன்மைச் சுரங்கள்.

(c) $(P-q)$, $(P+q)$ அதிர்வெண்களையுடைய சீரியல்புக் கூறுகள் (Harmonic components). ஆகியவை இருக்கின்றன எனத் தெரிகிறது. மேற்பொருந்தல் கொள்கை (Principle of Super position)யின் தோல்வியாலும், செவியின் இயக்கத்தில் சமச்சீர் இல்லாததாலும் கூட்டோசைகள் எழுகின்றன.

எடுத்துக்காட்டுகள்

1. 256 அதிர்வெண்ணுடைய இசைக்கவையோடு சேர்ந்து ஒலிக்கும்போது மற்றொரு இசைக்கவை விநாடிக்கு 4 விம்மல்களைத் தருகிறது. இரண்டாவதின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடி.

2-வது இசைக்கவையின் அதிர்வெண் $= 256 \pm 4$

∴ 2-வதின் அதிர்வெண் 260 அல்லது 252.

2. ஒரே மாதிரியான இரு சோனா மீட்டர் கம்பிகள் விநாடிக்கு. 2-விம்மல்களைத் தருகின்றன. ஒரு கம்பியின் நீளம் 0·5 மீட்டர் மற்றதின் நீளம் 0·501 மீட்டர். இரண்டு கம்பிகளின் அதிர்வெண்களைக் கண்டுபிடி.

$l_1 = 0{\cdot}5$ மீட்டர்

$l_2 = 0{\cdot}501$ மீட்டர்

$$n_1 = \frac{1}{2l_1}\sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{K}{l_1} \qquad \left(K = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{T}{m}}\right)$$

$$n_2 = \frac{1}{2l_2}\sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{K}{l_2}$$

விம்மல்களின் எண்ணிக்கை $n_1 - n_2$

$$n_1 - n_2 = K\left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_2}\right)$$

$$2 = K\left[\frac{l_2 - l_1}{l_1 \times l_2}\right]$$

$$2 = K\left[\frac{\cdot 501 - \cdot 5}{\cdot 501 \times \cdot 5}\right]$$

$$K = \frac{\cdot 501 \times \cdot 5 \times 2}{\cdot 001}$$

$$= 501$$

$$\therefore n_1 = \frac{501}{\cdot 5} = 1002$$

$$n_2 = \frac{501}{\cdot 501} = 1000.$$

கம்பிகளின் அதிர்வெண்கள் 1000, 1002 ஆகும்.

3. ஒரு பித்தளைக் கம்பியும், எஃகுக் கம்பியும் ஒரே நீளமும், விட்டமும் உடையன. அவை ஒரே இழுவிசையில் ஒரே நேரத்தில் ஒலிக்கும்போது விநாடிக்கு 5 விம்மல்களைத் தருகின்றன. அவற்றின் அதிர்வெண்ணைத் தனித்தனியே கணக்கிடு. பித்தளையின் அடர்த்தி = 8.4 கிராம்/கன செண்டி மீட்டர். எஃகின் அடர்த்தி = 7.8 கிராம்/கன செண்டி மீட்டர்.

கம்பியின் அடிப்படை அதிர்வு எண்

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$= \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{\pi r^2 d}}$$

d - அடர்த்தி
r - ஆரம்.

$$n \propto \frac{1}{\sqrt{d}}$$

முதல் பித்தளைக்கம்பிக்கு அதிர்வு எண் n_1, எஃகு கம்பிக்கு அதிர்வு எண் n_2 எனவும் கொண்டால்

$$n_1 \propto \frac{1}{\sqrt{8\cdot 4}}$$

$$n_2 \propto \frac{1}{\sqrt{7\cdot8}}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{7.8}{8.4}} = \sqrt{\frac{78}{84}}$$

$$= 1\cdot038$$

$$n_1 = 1\cdot038\, n_2$$

$$n_1 - n_2 = 1.038\, n_2 - n_2$$

1 விநாடிக்கு எழும் விம்மல்கள் $(n_1 - n_2) = 5$.

$$5 = 1.038\, n_2 - n_2$$

$$= n_2 (\cdot038)$$

$$n_2 = \frac{5}{\cdot038}$$

$= 131\cdot6$ அலைவுகள் / விநாடி.

$$n_1 = 131\cdot6 + 5$$

$= 136\cdot6$ அலைவுகள் / விநாடி.

வினாக்கள்

1. மேற்பொருந்துதலின் கோட்பாடு என்ன ?

2. ஒரே வீச்சும், சற்றே மாறுபட்ட அதிர்வெண்களும் உடைய இரு அலைகள் ஒரே திசையில் விரைகின்றன. அவற்றின் தொகுப்பைக் கணக்கிடு.

3. ஒலிக் குறுக்கீடு என்றால் என்ன? அழிவுக் குறுக்கீடு தோன்றத் தேவையான தகுதிகள் யாவை?

4. விம்மல்கள் தோன்றும் முறையைப் பகுப்பாய்வு முறையில் கண்டுபிடி. குறுக்கீட்டிற்கும், விம்மல்களுக்கும் உள்ள வேறு பாடுகள் யாவை ?

5. ஒலிக் குறுக்கீட்டைச் செய்முறையில் விளக்கப் பயன் படும் குயின்கே (Quinke's Tube), சீபெக் (Sheebeck Tube) குழல் ஆகியவற்றை விளக்கி எழுது.

6. விம்மல்கள் தோன்றுவதைச் செய்முறையில் விளக்கிக் காட்டும் ஒரு பரிசோதனையை விவரி.

7. கூட்டோசைகள் என்றால் என்ன? அவை தோன்றுவதன் கொள்கைகளை விளக்கு.

8. இரண்டு இசைக்கவைகள் ஒன்றாக ஒலிக்கும்போது 3 விநாடிகளில் 10 விம்மல்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. அவற்றில் ஒன்றின் அதிர்வெண் 384. ஒரு இசைக்கவை சிறிது சுமைப் படுத்தப்படும்போது அவற்றிடையே விம்மல்கள் மறைகின்றன. மற்றொன்றின் அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடு.

9. A, B என்ற இரு இசைக்கவைகள் விநாடிக்கு 4 விம்மல் களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. A-யில் சிறிது மெழுகை ஒட்டினால் 5 விநாடிகளுக்கு 3 விம்மல்கள் தோன்றுகின்றன. B-யின் அதிர் வெண் 256 ஆனால் A-யின் அதிர்வெண்ணை மெழுகு ஒட்டப் படுவதற்கு முன்னும் பின்னும் கண்டுபிடி.

10. 1000 அதிர்வெண்ணுடைய இரண்டு ஒலி மூலங்கள் ஒரு நேர்கோட்டில் கட்ட வேறுபாடின்றி ஒலித்துக் கொண்டிருக் கின்றன. ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றை நோக்கி ஒரு மனிதன் எந்த வேகத்தில் விநாடிக்கு 10 விம்மல்களைக் கேட்பான்? காற்றில் ஒலியின் வேகம் 330 மீட்டர் / விநாடி.

11. இரண்டு ஆர்கன் குழல்கள் விநாடிக்கு 5 விம்மல்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. அவற்றின் நீளங்களின் தகவு 50 : 51. அவற்றின் அதிர்வெண்களைக் கண்டுபிடி.

12. ஒரு இசைக்கவை ஒரு சோனாமீட்டர் கம்பியுடன் இணைந்து ஒலிக்கும்போது 12 விநாடிகளில் 20 விம்மல்களைத் தோற்றுவிக்கின்றது. கம்பியின் இழுவிசை 10·2 அல்லது 9·9 கி.கிராம் ஆகும். இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடி.

13. கீழ்க் கண்டவற்றிற்குச் சிறுகுறிப்பு வரைக.

(a) ஒலி அலைகளின் குறுக்கீடு (b) விம்மல்கள்

(c) கூட்டோசைகள் (d) சமச்சீரற்ற அலைவுகள்

14. இரு இசைக்கவைகள் ஒன்றாக ஒலிக்கும்போது 8 விநாடி களில் 20 விம்மல்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. ஒன்றைச் சிறிது மெழுது கொண்டு தடைப்படுத்தினால் 8 விநாடிகளில் 32 விம்மல் களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. தடைப்படுத்தப்பட்ட கவையின் அதிர்வெண் 512 ஆனால் மற்றதன் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடி.

7. நிலையான அலைகள்

(Stationary waves)

7·1. நிலையான அலைகள் தோன்றும் முறை

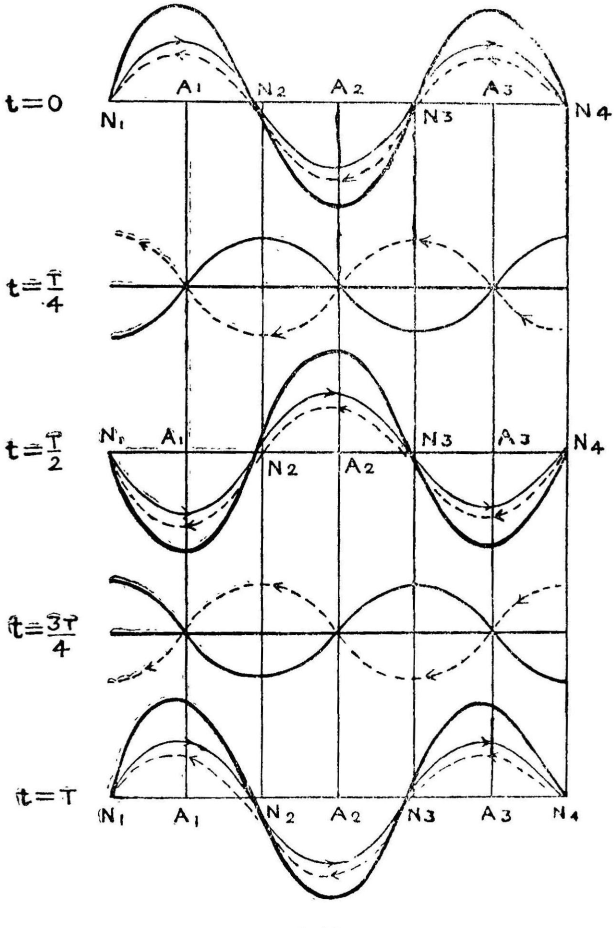
ஒரு ஊடகத்தில் ஒரே அளவான வீச்சும், அலைநீளமும் கொண்ட இரு அலைகள் எதிரெதிரான திசையில் செல்லும்போது ஒரு புதுவகையான அலைகள் தோன்றுகின்றன. இந்த அலைகளுக்கு நிலையான அலைகள் எனப்பெயர். இந்த நிலையான அலைகளில் எந்தத் திசையிலும் ஆற்றல் செல்வதில்லை.

ஊடகத்தில் குறிப்பிட்ட சம அளவான தொலைவுகளில் (Equi-distant places) உள்ள சில புள்ளிகளில், துகள்கள் எப்போதும் நிலையிலேயே இருக்கின்றன. அவை அதிர்வதில்லை. இவைகளுக்கு நடுவேயுள்ள புள்ளிகளில் துகள்கள் பெரும் இடப்பெயர்ச்சியுடன் (Maximum displacement) அதிருகின்றன. இப்படிப்பட்ட அலைகளுக்கு நிலையான அலைகள் எனப்பெயர்.

படம் 50 நிலையான அலை தோன்றுவதை எடுத்துக் காட்டுகிறது. ஒரு தொடர்வளைகோடும், ஒரு புள்ளி வளைகோடும் ஒரே வீச்சும், அலைநீளமும் உடைய எதிரெதிர்த் திசைகளில் விரையும் அலைகளைக் குறிக்கின்றன. தடித்தகோடு இரு அலைகளாலும் ஏற்படும் தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சியைக் (Resultant displacement) குறிக்கிறது.

நேரம் $t=0$ ஆக இருக்கும்போது இரு அலைகளையும் தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சியையும் படம் (a) காட்டுகிறது. இதில் இரு அலைகளின் முகடுகளும் (Crests), இரு அலைகளின் அகடுகளும் (Troughs) ஒன்றோடொன்று பொருந்தியிருக்கின்றன. ஆகவே, தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி இரு அலைகளின் இடப் பெயர்ச்சிகளின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும். N_1, N_2, N_3, N_4 ஆகிய துகள்கள் நிலையில் இருக்கின்றன. A_1 A_2 A_3 துகள்கள் பெரும் இடப்

பெயர்ச்சி அடைகின்றன. கால் அலைவு நேரத்திற்குப்பின் $\left(t = \frac{T}{4}\right)$, அலைகள் $\frac{\lambda}{4}$ தொலைவு நகருகின்றன. ஒரு அலை வலப் புறமும் மற்றொரு அலை எதிர்புறமும் நகரும். ஆகவே, ஒன்றின்



படம் 50

முகடு மற்றொன்றின் அகடின் மீது பொருந்தும். ஆகவே, எல்லாத் துகள்களின் தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி O-ஆக இருக்கும். தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சியைக் குறிக்கும் தடித்தகோடு இப்போது நேர்க்கோடாக இருக்கிறது.

மற்ருெரு கால் அலேவு நேரத்திற்குப்பின் $\left(t = \frac{T}{2}\right)$ அலேகள் இன்னும் $\frac{\lambda}{4}$ தொலேவு எதிரெதிர்த் திசைகளில் நகருகின்றன. எனவே, மீண்டும் இரு அலேகளின் முகடுகளும், அகடுகளும் ஒன்ருே டொன்று பொருந்துகின்றன. தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி மீண்டும் தனித்தனி இடப்பெயர்ச்சியின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமா கின்றது.

மற்ருெரு கால் அலேவு நேரத்திற்குப் பின் மீண்டும் ஒருமுறை எல்லாத் துகள்களும் அதிரா நிலேக்கு வருகின்றன. தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி சுழியாக இருக்கும். நேரம் t அலேவு நேரம் T-க்குச் சமமாகும்போது மீண்டும் $t=0$ ஆக இருந்த நிலேயைத் துகள்கள் அடைகின்றன.

படத்திலிருந்து N_1, N_2, N_3, N_4 ஆகிய புள்ளிகளிலுள்ள துகள்கள் எப்போதும் அதிர்வு இல்லாமல் நிலேயாகவே உள்ளன. A_1, A_2, A_3 ஆகிய புள்ளிகளில் உள்ள துகள்கள் எப்போதும் பெரும இடப்பெயர்ச்சியுடன் அதிர்ந்து கொண்டிருக்கின்றன. N_1, N_2 போன்ற அதிர்வு இல்லாப் புள்ளிகளே கணுக்கள் (Nodes) என்றும், A_1, A_2 போன்ற பெரும இடப்பெயர்ச்சியுடைய புள்ளிகளே எதிர்க்கணுக்கள் (Antinodes) அல்லது பெரும அதிர்வு புள்ளிகள் என்றும் கூறுகிருேம். கணுக்களும், எதிர்க்கணுக்களும் மாறி மாறித் தோன்றும்.

7.2· நிலேயான அலேகளின் பகுப்பாய்வு முறை

ஒரு ஊடகத்தின் வழியே எல்லா விதங்களிலும் சமமான இரு வேறு அலேகள் எதிரெதிர்த் திசைகளில் விரையும்போது நிலேயான அலேகள் தோன்றுகின்றன. நிலேயான அலேகளேத் தோற்றுவிக்கும் முன்னேறும் அலேகள் இரண்டும் குறுக்கலேகளாகவோ, நெட்டலே களாகவோ இருக்கலாம். பொதுவாக ஒரு முன்னேறும் அலே ஏதாவது ஒரு தளத்தில் எதிரொளிக்கப்பட்டு எதிர்த் திசையில் விரைகிறது. முன்னேறும் அலேயும் இந்த எதிரொளிக்கப்பட்ட அலேயும் ஒன்ருேடொன்று பொருந்தி நிலேயான அலேகளே உண்டாக்குகின்றன.

x-அச்சின் திசையில் இடமிருந்து வலமாக ஒருதள முன்னேறும் அலே போகட்டும். x-தொலேவில் ஒரு கணத்தில் (Instant) அதன் இடப்பெயர்ச்சி,

$$y_1 = a \sin \omega \left(t - \frac{x}{v}\right) \text{ ஆகும்.}$$

a–என்பது அதன் வீச்சாகும். எதிரொளிக்கப்பட்ட அலையின் இடப்பெயர்ச்சி,

$$y_2 = a \sin \omega \left(t + \frac{x}{v} \right)$$

ஒன்றோடொன்று இணையும்போது இந்த இரு அலைகளும் நிலையான அலையைத் தோற்றுவிப்பதால் தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி

$$y = y_1 + y_2$$

$$= a \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) + a \sin \omega \left(t + \frac{x}{v} \right)$$

$$= 2a \cos \omega \frac{x}{v} \sin \omega t.$$

$$= 2a \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \sin \frac{2\pi\, vt}{\lambda}$$

இது $2a \cos \dfrac{2\pi x}{\lambda}$ வீச்சுடைய ஒரு அலையைக் குறிக்கிறது. இதன் அலைவு நேரம், எதிர்த் திசைகளில் பொருந்தும் அலைகளின் அலைவு நேரத்திற்குச் சமம் ஆகும்.

$$y = 2a \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \sin \frac{2\pi\, vt}{\lambda}$$

இடத்தைப் பொறுத்து, வீச்சின் மாற்றம் (Change with Position)

முதலில் இடத்தைப் பொறுத்து வீச்சு எப்படி மாறுகிறது என்பதைக் காண்போம்,

வீச்சு பெருமதிப்பாக இருக்க,

$\cos \dfrac{2\pi x}{\lambda} = \pm 1$ ஆக இருத்தல் வேண்டும்.

$\dfrac{2\pi x}{\lambda} = 0, \pi, 2\pi, \ldots\ldots\ldots$ ஆக இருத்தல் வேண்டும்.

அல்லது $x = 0, \dfrac{\lambda}{2}, \dfrac{2\lambda}{2}, \dfrac{3\lambda}{2}, \ldots\ldots\ldots$

$$x = \frac{n\lambda}{2} \quad (n = 0, 1, 2, 3, \ldots\ldots\ldots)$$

ஆகவே, $x = 0,\ \frac{\lambda}{2},\ \frac{2\lambda}{2},\ \frac{3\lambda}{2},\ \ldots\ \ldots$

ஆகிய இடங்களில் வீச்சு பெருமதிப்பாக இருக்கிறது. இது $\left(\frac{2\pi\,vt}{\lambda}\right)$-ன் மதிப்பைப் பொறுத்தது அல்ல. மேலும், இந்த இடங்களில் $\left(x = \frac{n\lambda}{2}\right)$

$$\frac{dy}{dx} = o$$

$$\frac{dy}{dt} = \pm\ \frac{4\pi a v}{\lambda} \cos \frac{2\pi v t}{\lambda} = \text{பெரு மதிப்பு}$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \pm\ \frac{8\pi^2 a v^2}{\lambda} \sin 2\pi v t = \text{பெருமதிப்பு}$$

எனவே பெரும வீச்சு, வேகம், முடுக்கமுடைய இந்த இடங்கள் எதிர்க்கணுக்கள் எனக் கூறப்படும். எதிர்க்கணுக்கள் அரை அலை-நீள இடைவெளியுடையவை.

இதேபோல்,

$$\frac{dy}{dx} = \cos \frac{2\pi x}{\lambda} = O$$

$$\frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{\pi}{2},\ \frac{3\pi}{2},\ \frac{5\pi}{2},\ \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$= (2n+1)\frac{\pi}{2} \quad [n = O,\ 1,\ 2, \ldots\ldots\ldots]$$

$$x = \frac{(2n+1)}{2}.\ \frac{\pi}{2}$$

ஆகவே, $x = \frac{\lambda}{4},\ \frac{3\lambda}{4},\ \frac{5\lambda}{4},\ \ldots\ldots\ldots\ldots$

ஆகிய புள்ளிகளின் தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி (வீச்சு) சுழியாக இருக்கும்.

மேலும் $\frac{dy}{dx} = \frac{4\pi a}{\pi} \sin \frac{2\pi vt}{\lambda} =$ பெருமதிப்பு.

$$\frac{dy}{dt} = O$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = O$$

இந்தப் புள்ளிகளில் $\left[x = (2n+1)\frac{\lambda}{4}\right]$, இடப் பெயர்ச்சி, வேகம், முடுக்கம் ஆகியவை சுழியாக இருக்கும். இந்தப் புள்ளிகள் கணுக்கள் எனப்படும். கணுக்கள் கூட $\frac{\lambda}{2}$ தொலைவு இடைவெளியுடையனவாய் இருக்கும். இரு கணுக்களுக்கிடையே ஒரு எதிர்க்கணு இருக்கும். ஒரு கணுவுக்கும், ஒரு எதிர்க்கணுவுக்கும் இடையேயுள்ள தொலைவு $\frac{\lambda}{4}$ ஆகும்.

நேரத்தைப் பொறுத்து வீச்சின் மாற்றம் (Change with time)

$$y = 2a \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \sin \frac{2\pi vt}{\lambda}$$

இங்கு,

$$\sin \frac{2\pi vt}{\lambda} = O \text{ ஆக இருந்தால்,}$$

$$\text{வீச்சு } y = O \text{ ஆக இருக்கும்.}$$

$$\frac{2\pi vt}{\lambda} = O,\ \pi,\ 2\pi, \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ ஆக இருத்தல் வேண்டும்.}$$

$$\frac{2\pi t}{T} = O,\ 2\pi, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ஆக இருத்தல் வேண்டும்.}$$

அல்லது $t = O, \frac{T}{2}, \frac{2T}{2}, \frac{3T}{2}$..............ஆகிய நேரங்களில் துகளின் இடப்பெயர்ச்சி சுழியாக அல்லது சிறுமதிப்பாக இருக்கும்.

$$\frac{dy}{dx} = O$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{4\pi av}{\lambda} \cos \frac{2\pi x}{\lambda}$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = O.$$

ஒவ்வொரு அலைவு நேரத்திலும், துகள்கள் இருமுறை அவற்றின் நடுநிலையைக் (Mean position) கடக்கின்றன. ஆனால் அப்போது அவற்றின் பெருமதிப்பு வேகம் வெவ்வேறாக இருக்கும்.

இதேபோல்,

$\sin \frac{2\pi vt}{\lambda} = \pm 1$ ஆக இருக்கும்போது, இடப்பெயர்ச்சி பெருமதிப்பாக இருக்கும்.

$$\frac{2\pi vt}{\lambda} = \frac{\pi}{2}, \ \frac{3\pi}{2}, \ \ldots\ldots\ldots\ldots$$ ஆக இருத்தல்வேண்டும்.

$$\frac{2\pi t}{T} = \frac{\pi}{2}, \ \frac{3\pi}{2}, \ \frac{5\pi}{2}, \ \ldots\ldots$$ ஆக இருத்தல்வேண்டும்.

$$t = \frac{T}{4}, \ \frac{3T}{4}, \ \frac{5T}{4}, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$= (2n-1)\frac{\lambda}{4} \qquad [n = 1,2,3,\ldots\ldots\ldots]$$

$$y = 2a\cos\frac{2\pi x}{\lambda}$$

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{4\pi a}{\lambda}\sin\frac{2\pi x}{\lambda}.$$

$$\frac{dy}{dt} = O$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{8\pi^2 v^2 a}{\lambda^2}\cos\frac{2\pi x}{\lambda}.$$

இதிலிருந்து ஒரு அலைவுநேரத்தில் எல்லா இடங்களிலும் வேகம் சுழியாகவும், இடப்பெயர்ச்சி, முடுக்கம் ஆகியவை மற்ற நேரங்களைவிட மிகுந்த மதிப்புடையதாகவும் இருக்கக் காண்கிறோம்.

7·3. நிலையான அலைகளின் குணங்கள்

1. ஊடகத்திலுள்ள ஒவ்வொரு துகளும் சீரியல்பில் இயங்கும். அவைகளின் அலைவு நேரமும், கட்டமும் எதிர்த்திசைகளில் விரையும் முன்னேறும் அலைகளின் அலைவு நேரத்திற்கும் கட்டத்திற்கும் சமமாக இருக்கும். ஆனால், வீச்சு ஒவ்வொரு புள்ளிக்கும் மாறிக்கொண்டே செல்லும். வீச்சின் மதிப்பு சுழியாகவோ, பெரு மதிப்பாகவோ [நேர் அல்லது எதிர்க்குறி உடையதாக] இருக்கும்.

2. சம தொலைவுகளில் உள்ள சில புள்ளிகளில் (Equally Spaced points) இடப்பெயர்ச்சியும் துகள் வேகமும் பெருமதிப்பாக இருக்கும். இவை எதிர்க்கணுக்கள் எனப்படும். அடுத்தடுத்துள்ள எதிர்க்கணுக்களில் இடப்பெயர்ச்சி ஒன்றுக்கொன்று எதிராக இருக்கும். நெட்டலைகள் தோற்றுவிக்கும் நிலையான அலைகளின் எதிர்க்கணுக்களில் அழுத்தம் (Pressure) சிறுமதிப்பாக இருக்கும். அடுத்தடுத்துள்ள இரு எதிர்க்கணுக்களுக்கு இடையே உள்ள தொலைவு $\frac{\lambda}{2}$ ஆகும்.

3. எதிர்க்கணுக்களுக்கு நடுவில், எப்போதும் நிலையாகவே உள்ள கணுக்கள் தோன்றுகின்றன. நெட்டலைகள் தோற்றுவிக்கும் நிலையான அலைகளின் கணுக்களில் பெருமளவு அழுத்த வேறுபாடு ஏற்படும். கணுக்கள் இறுக்கத்தின் (Compression) நடுவிலோ அல்லது தளர்ச்சியின் (Rarefaction) நடுவிலோ மாறிமாறி இருக்கும். இது ஒவ்வொரு அரை அலைவுநேரத்திற்கும் மாறும்.

4. கணுக்கள், எதிர்க்கணுக்களின் அமைப்பு ஊடகத்தைப் பல வளையங்களாகப் (Loops or Segments) பிரித்து விடுகிறது. ஒரே வளையத்திலுள்ள எல்லாத்துகள்களும் ஒரே கட்டத்தில் அதிரும். ஆனால், அடுத்தடுத்துள்ள வளையங்களிலுள்ள துகள்கள் எதிர்க் கட்டத்தில் (Opposite phase) அதிர்கின்றன.

5. ஒரு அலைவுநேரத்தில் இருமுறை எல்லா துகள்களும் ஒரே கணத்தில் அவைகளின் நடுப்புள்ளியைப் பெரும வேகத்துடன் (Maximum velocity) கடக்கும். கடக்கும் திசை அரை அலைவு-நேரத்திற்குப்பின் எதிராக மாறும்.

6. இதேபோல் ஒரு அலைவுநேரத்தில் இருமுறை எல்லாத் துகள்களும் ஒரே கணத்தில் பெரும இடப்பெயர்ச்சியை அடையும். இடப்பெயர்ச்சி அரை அலைவுநேரத்திற்குப்பின் திசை மாறும்.

7. அலை வடிவம் (Wave Form) எந்தத் திசையிலும் நகருவதில்லை. ஆகவே ஆற்றல் (Energy) எப்பக்கமும் விரைவதில்லை.

7·4. நிலையான அலைகளின் ஆற்றல்

நிலையான அலைகளின் ஆற்றல் முன்னேறும் அலைகளில் உள்ளதைப்போல் இருக்காது. ஒவ்வொரு அலை நீளத்திற்கும் உள்ள மொத்த ஆற்றல் ஒரு நிலையான அலையில், முன்னேறும் அலையில் இருப்பதைப் போல் இரு மடங்காக இருக்கும். ஏனெனில், நிலையான அலை இரண்டு தனித்தனி அலைகளால் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. இவையிரண்டும் எதிரெதிர்த் திசைகளில் இருப்பதைத் தவிர மற்ற எல்லாக் குணங்களிலும் ஒரே மாதிரியானவை. இத்தோடுகூட நிலையான அலைகளில் ஆற்றல் இடம்விட்டு இடம் நகர்ந்து செல்வதில்லை. எதிர்த்திசைகளில் விரையும் இரண்டு முன்னேறும் அலைகளின் தொகுப்புதான் நிலையான அலை எனக் கண்டோம். எனவே, எதிர்த்திசைகளில் நகரும் சமமான ஆற்றல்களின் குறியியல் கணக்குத் தொகை (Algebraic sum) சுழியாக இருக்கும். ஆகவே நிலை அலைகளில் எந்தத் திசையிலும் ஆற்றல் நகருவதில்லை.

முன்னேறும் அலைகளில் எந்த ஒரு கணத்திலும் மொத்த ஆற்றலில் ஒரு பகுதி இயங்கு ஆற்றலாகவும் மற்றொரு பகுதி நிலை ஆற்றலாகவும் இருக்கக் கண்டோம், ஆனால் நிலையான அலைகளில் இயங்கு ஆற்றலுக்கும், நிலை ஆற்றலுக்கும் உள்ள தகவு எல்லாப் புள்ளிகளிலும் ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் சமமாக இருக்கும். தகவு இடத்தைப் பொறுத்தது அன்று. ஆனால், இந்தத் தகவு, நேரத்திற்கு நேரம் மாறுபடும். நிலையான அலைகளில் உள்ள துகள்கள் நடுநிலையைக் கடக்கும்போது எல்லா இடங்களிலும் அவற்றின் ஆற்றல் இயங்கு ஆற்றலாக இருக்கும். இதே நிலையில் ஆற்றலின் பெரும் பங்கு எதிர்க்கணுக்களின் அருகே இருக்கும். ஏனெனில், எதிர்க்கணுக்களால்தான் துகள்கள் அல்லது கம்பியின் பகுதி மிக வேகமாக இயங்கிக் கொண்டிருக்கும். அலையின் ஓரத்தில் (Extreme Position) துகள்கள் இருக்கும்போது ஆற்றல் முழுவதும் நிலையாற்றலாகவே இருக்கும். ஏனெனில், காற்றின் துகள்களெல்லாம் நிலையில் (at Rest) இருக்கும். இடைப்பட்ட நிலைகளில் ஒரு பகுதி நிலையாற்றலாகவும், எஞ்சியது இயங்கு ஆற்றலாகவும் இருக்கும். இதைப் பகுப்பாய்வு முறையில் காணலாம்.

7·5. பகுப்பாய்வு முறையில் ஆற்றலைக் காணல் (Analytical Treatment)

ஒரு நிலையான அலையில் எந்த ஒரு கணத்திலும் ஒரு துகளின் இடப்பெயர்ச்சியைக் கீழ்க்காணும் சமன்பாடு தரும்.

$$y = 2a \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \sin \frac{2\pi \nu t}{\lambda} \qquad \ldots\ldots(1)$$

திசை வேகம்

$$\frac{dy}{dt} = \frac{4\pi a\nu}{\lambda} \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \cos \frac{2\pi \nu t}{\lambda}$$

ஓரலகு பரப்பும், δx தடிமனும் உடைய காற்று அடுக்கின் (Air Layer) நிறை $\rho \, \delta x$ ஆகும்.

ρ - என்பது காற்றின் அடர்த்தியைக் குறிக்கும். எந்த ஒரு கணத்திலும், இந்த ஓரலகு பரப்புடைய அடுக்கின் இயங்கு ஆற்றல்

$$dK = \tfrac{1}{2} \times \text{நிறை} \times (\text{திசைவேகம்})^2$$

$$= \tfrac{1}{2} \times \rho \, \delta x . \left(\frac{dy}{dt}\right)^2$$

'l' - அலை நீளமுடைய ஒரு முழு அலையின் மொத்த இயங்கு ஆற்றல்

$$K = \frac{1}{2}\rho \int_0^l \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 dx.$$

$$= \rho\left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2 \cos^2\frac{2\pi v t}{\lambda}\int_0^l 2\cos^2\frac{2\pi x}{\lambda}\ tdx.$$

$$= \rho\left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2 \cos^2\frac{2\pi v t}{\lambda}\int_0^l \left(1+\cos\frac{4\pi x}{\lambda}\right) dx.$$

$$= \rho\, l\left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2 \cos^2\frac{2\pi v t}{\lambda}$$

$$\left[\because \int_0^e \left(1+\cos\frac{4\pi x}{\lambda}\right) dx = l\right]$$

ஓரலகு பரப்புக்கு, ஓரலகு நீளத்திற்கான இயங்கு ஆற்றல்

$$\boxed{K = \rho\left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2 \cos^2\frac{2\pi v t}{\lambda}}$$

ஓரலகு பரப்புக்கு, ஓரலகு நீளத்திற்கான மொத்த ஆற்றல் இந்தச் சமன்பாட்டின் பெருமதிப்பாகும்.

$$\therefore K = \rho\left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2$$

இதை முன்னேறும் அலையின் ஆற்றலோடு ஒப்பிட்டுப் பார்த்தால், எந்த ஒரு கணத்திலும் நிலையான அலையின் மொத்த ஆற்றலைப் போல் இருமடங்கு எனத் தெரிகிறது.

அலையின் மொத்த ஆற்றலில் இருந்து இயங்கு ஆற்றலைக் கழிக்க நிலை ஆற்றல் கிடைக்கும்.

$$\rho\left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2 - \rho\left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2 \cos^2\frac{2\pi v t}{\lambda}$$

$$= \rho\left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)\left[1-\cos^2\frac{2\pi v t}{\lambda}\right]$$

$$= \rho\left(\frac{2\pi a v}{\lambda}\right)^2 \sin^2\frac{2\pi v t}{\lambda}$$

நிலை ஆற்றல்

$$P = \rho \left(\frac{2\pi\ av}{\lambda}\right)^2 \sin^2 \frac{2\pi\ vt}{\lambda}.$$

இங்கு நிலை ஆற்றல், இயங்கு ஆற்றல் ஆகியவை நேரத்தோடு மாறுபடுகின்றன என்று தெரிகிறது. இருப்பினும், அவற்றின் அளவு ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் ஒரே அளவாக இருக்கும். எனவே தான், இந்தத் தகவு இடத்தைப் பொறுத்தது அல்ல என்கிறோம். $\cos \frac{2\pi\ vt}{\lambda} = \pm 1$ ஆக இருக்கும்போது குறிப்பிட்ட நேரத்தில் எல்லா இடங்களிலும் ஆற்றல் இயங்கு ஆற்றலாக இருக்கும். $\cos \frac{2\pi\ vt}{\lambda} = 0$ அல்லது $\sin \frac{2\pi\ vt}{\lambda} = \pm 1$ ஆக இருக்கும்போது ஆற்றல் முழுவதும் நிலை ஆற்றலாக இருக்கும். இரண்டுக்குமிடையே உள்ள தகவு, நேரத்திற்கு நேரம் மாறுபடுகிறது.

நிலையான அலைகளில் ஆற்றல் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோரிடத்திற்கு அனுப்பப்படுவதில்லை.

நிலையான அலைகளில் ஆற்றல் ஓரிடம்விட்டு மற்றோரிடத்திற்கு நகர்வதில்லை என்பதைப் பகுப்பாய்வு முறையில் காணலாம். நிலையான அலை இயக்கத்தால் ஒரு ஊடகத்தில் தோன்றும் மிகு அழுத்தம் (excess pressure).

$$P = px \sin \frac{2\pi\ vt}{\lambda}$$

திசைவேகம்

$$U = \frac{dy}{dt} = \frac{4\pi\ ax}{\lambda} \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \cos \frac{2\pi\ vt}{\lambda}$$

$$= Ux \cos \frac{2\pi\ vt}{\lambda}$$

$$\left[Ux = \frac{4\pi\ av}{\lambda} \cos \frac{2\pi x}{\lambda}\right]$$

ஓரலகு பரப்புக்கு dt நேரத்திற்கு நகரும் ஆற்றல் அல்லது செய்யப்படும் வேலை

$$= P.U.\ dt,$$

ஒரு அலைவுநேரம் T-க்கு நகரும் ஆற்றல்

$$= \int_0^T P.U.\, dt.$$

ஆற்றல் நகரும் வீதம் (Rate of transfer of energy)

$$= \frac{1}{T} \int_0^T P.\, U.\, dt.$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^T Px \sin \frac{2\pi vt}{\lambda}\, Ux \cos \frac{2\pi vt}{\lambda}\, dt.$$

$$= \frac{Px\, Ux}{T} \int_0^T \sin \frac{2\pi\ vt}{\lambda} \cos \frac{2\pi\ vt}{\lambda}\, dt$$

$$= \frac{Px\, Ux}{T} \int_0^T \sin \frac{4\pi\ vt}{\lambda} dt.$$

$$= 0 \qquad \left[\because \int_0^T \sin \frac{4\pi\ vt}{\lambda} dt = 0\right]$$

7·6. முன்னேறும் அலைகளையும் நிலையான அலைகளையும் ஒப்பிடல்

முன்னேறும் அலைகள்	நிலையான அலைகள்
1. அதிர்வு ஒரு புள்ளியிலிருந்து மற்றொன்றுக்குக் கொடுக்கப்பட்டு அதனால் அலை முன்னேறுகிறது.	1. அதிர்வு நகர்வதில்லை. எந்தப் புள்ளியும் அதன் இயக்கத்தை மற்றொன்றிற்குக் கொடுப்பதில்லை.
2. அலையில் எல்லாப் புள்ளிகளும் ஒரே வீச்சுடன் அதிர்கின்றன.	2. புள்ளிக்கு புள்ளி வீச்சு மாறுகின்றது. கணுக்களில் 'O' ஆகவும் எதிர்க் கணுக்களில் பெரும் வீச்சாகவும் உள்ளது.

அட்டவணை தொடர்ச்சி

முன்னேறும் அலைகள்	நிலையான அலைகள்
3. புள்ளிக்குப் புள்ளி கட்டம் (Phase) தொடர்ந்து மாறுகின்றது. ஒவ்வொரு λ தொலைவிலும் வடிவ அமைப்பு திரும்பக் கிடைக்கும்.	3. ஒரு வளையத்தில் உள்ள எல்லாப் புள்ளிகளும் ஒரே கட்டத்தில் (Phase) அதிர்கின்றன.
4. எந்த ஒரு துகளும் எப்பொழுதும் நிலையில் இருப்பதில்லை. அலைவின் முடிவில் மிகச் சிறிய நேரத்திற்கு நிலையில் இருக்கும். இந்த நிலையில் ஒவ்வொரு துகளும் ஒவ்வொரு நேரத்தில் இருக்கும்.	4. கணுக்களில் உள்ள துகள்கள் எப்பொழுதும் நிலையிலிருக்கின்றன. மற்றவை அலைவின் முடிவில் மிகச்சிறிய நேரத்திற்கு நிலையிலிருக்கும். எல்லாத் துகள்களும் இந்த நிலையில் ஓர் அலைவுநேரத்தில் இருமுறை இருக்கும்.
5. துகள்கள் ஒன்றன் பின் ஒன்றாக ஒரே வேகத்துடன் நடு நிலையைக் (mean position) கடக்கும்.	5. எல்லாத் துகள்களும் ஒரே நேரத்தில் வெவ்வேறு வேகத்துடன் நடுநிலையைக் கடக்கின்றன. கணுக்களில் ‘O’ ஆகவும் எதிர்க் கணுக்களில் பெரும மதிப்பாகவும் வேகம் இருக்கும்.
6. ஊடகத்தின் பகுதிகள் அடுத்தடுத்து ஒரே மாதிரியான அழுத்த வேறுபாட்டுக்கு உட்படுகின்றன. இந்த அழுத்த வேறுபாடு முன்னோக்கி நகருகிறது.	6. அழுத்த வேறுபாடு வெவ்வேறு புள்ளிகளில் வெவ்வேறாக இருக்கும். கணுக்களில் பெரும மதிப்பாகவும், எதிர்க் கணுக்களில் சிறும மதிப்பாகவும் இருக்கும். அது முன்னோக்கி நகருவதில்லை. ஆனால், எல்லாப் பகுதிகளிலும் ஒரே நேரத்தில் தோன்றுகிறது.
7. அலைசெல்லும் திசையில் ஒவ்வொரு தளத்தைக் கடந்தும் ஆற்றல் அனுப்பப்படுகிறது.	7. எந்தத் தளத்தைக் கடந்தும் ஆற்றல் அனுப்பப் படுவதில்லை.

வினாக்கள்

1. நிலையான அலைகள் என்றால் என்ன? அவை எவ்வாறு தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன?

2. முன்னேறும் அலைகளுக்கும், நிலையான அலைகளுக்கும் வேறுபாடுகள் யாவை? இருவகை அலைகளிலும் ஆற்றல் பங்கீடு பற்றிக் கூறுக.

3. சமவீச்சுடைய இரு அலைகள் ஒரு நேர்க்கோட்டில் எதிர்த் திசைகளில் விரைகின்றன. இங்கு நிலையான அலைகள் தோன்றும் முறையை விளக்கி எழுது, இரு கணுக்களுக்கிடையே உள்ள தொலைவைக் கணக்கிடு.

4. கணுக்கள், எதிர்க்கணுக்கள் என்றால் என்ன? அவை இருப்பதை எவ்வாறு செயல்முறையில் காணலாம்?

5. நிலையான அலைகள் தோன்றுவதற்கான பகுப்பாய்வு முறையை விளக்கு. இடப்பெயர்ச்சி, இடத்தைப் பொறுத்தும் நேரத்தைப் பொறுத்தும் மாறுவதை கணக்கிட்டுக் காட்டு.

6. காற்றில் நிலையான அலைகள் தோன்றும் முறையைக் கூறு.

7. நிலையான அலைகளின் குணங்கள் யாவை?

8. நிலையான அலைகள் தோன்றுவதைப் பயன்படுத்தி காற்றில் ஒலியின் வேகத்தை எவ்வாறு கணக்கிடலாம்?

9. நிலையான அலைகளில் ஆற்றல் பங்கீடுபற்றி விளக்கு.

10. 200 அதிர்வெண்ணுடைய நிலையான அலைகள் காற்றில் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. காற்றில் அலையின் வேகம் 330 மீட்டர்/வினாடி என்றால் (a) இரு கணுக்கள், (b) இரு எதிர்க் கணுக்கள், (c) ஒரு கணு, ஒரு எதிர்க்கணு இவற்றிடையே உள்ள தொலைவைக் கண்டுபிடி.

8. இயல்பு, தடையுறு, திணிப்பு அதிர்வுகள்

8·1. இயல்பு அதிர்வுகள்

ஒரு பொருளை அதனுடைய நிலையிலிருந்து சிறிது இடப் பெயர்ச்சி அடையுமாறு செய்தால் அது தன்னுடைய துவக்க நிலைக்குத் திரும்பிவர முயலும். ஆனால் உடனே வர முடிவதில்லை. பொருளின் இயற்கை அமைப்பினால் அது துவங்கிய நடுநிலைப் புள்ளியைக் கடந்து எதிர்ப்பக்கத்தில் இடப்பெயர்ச்சி பெறும். இத்தகைய இடப்பெயர்ச்சிகள் மாறி, மாறி வருவதால் பொருள் இங்கும் அங்குமாக அலைவுறும் அல்லது அதிரும். வெளிவிசை களினால் நிறுத்தப்படும்வரை இந்த அதிர்வுகள் இருக்கும்.

பொருள் ஒரே திசையில் நடுநிலைப்புள்ளியைக் கடக்கும் போது அடுத்தடுத்து இருமுறை கடப்பதற்கு எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம் அதன் அலைவு நேரமாகும். இந்த அலைவு நேரம் பொருளின் பரிமாணங்களையும் (Dimensions), அதன் மீள் தன்மையையும் (Elasticity) பொருத்து அமையும். பொருள் எப்போதும் இதே அலைவு நேரத்தோடுதான் அதிரும். இத்தகைய அதிர்வுகளை இயல்பு அதிர்வுகள் அல்லது தனி அதிர்வுகள் (Free vibration) என்று சொல்கிறோம். இயல்பு அதிர்வின் அதிர்வு எண்ணுக்கு இயல் அதிர்வெண் (Natural frequency) என்று பெயர். வெற்றிடத்தில் தனி ஊசலின் அதிர்வுகளை இயல்பு அதிர்வாகக் கொள்ளலாம். இயல்பான அதிர்வுகளை

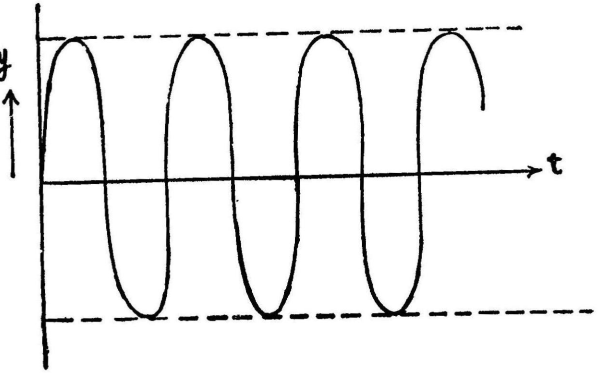
$$y = a \sin (\omega t + \theta)$$

என்ற சமன்பாட்டில் குறிக்கலாம். இதில் 'a' என்பது இயல் அதிர்வின் வீச்சு ஆகும். இந்த வீச்சு குறையாமல் மாறாமல் அதே அளவில் இருக்கும். அதன் அதிர்வு எண்ணும் மாறாது. இத்தகைய இயல்பு அதிர்வுகள் நடைமுறையில் கிடையா,

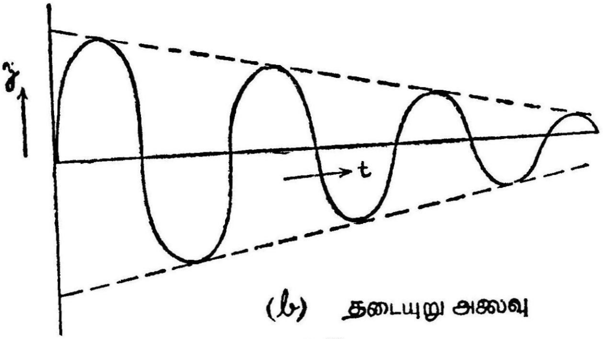
2. தடையுறு அதிர்வுகள் (Damped Vibrations)

காற்றிலோ அல்லது வேறு எந்த ஊடகத்திலோ ஒரு பொருள் அதிரும்போது அதனுடைய இயக்கத்திற்கு ஊடகம் ஒரு தடையை ஏற்படுத்தும். இந்தத் தடை இருவகை விளைவுகளை உண்டாக்கும்.

(1) அதிர்வின் வீச்சைக் குறைக்கும். (2) அதிர் வெண்ணில் ஒரு சிறிய மாற்றத்தைத் தோற்றுவிக்கும். எனவே, இந்த தடை தான் ஒலி விரைவாகக் குறைவதற்குக் காரணமாகிறது. இந்தத் தடை குறைவாக இருந்தால் அதிர்வுகள் மிக மெதுவாகக் குறையும்.



(a) தடையற்ற அலைவு



(b) தடையுறு அலைவு

படம் 51

ஊடகத்தால் தோன்றும் தடையை மீறி பொருள் இயங்கும் போது அது தன்னுடைய ஆற்றலில் சிறிதளவு இதற்காக செலவிடு

கிறது. ஆகவே துவக்கத்தில் இருந்த அதன் ஆற்றல் பொருளின் இயக்கம் தொடர, குறைந்து கொண்டே செல்லும். இதனால் தான் தடையுறு அதிர்வின் வீச்சும் குறைந்துகொண்டே செல்கிறது. இறுதியில் பொருள் அதிரா நிலையை அடையும். இந்த வீச்சுக் குறைவையே தடையுறுதல் (Damping) என்கிறோம். இதை மேலே கொடுக்கப்பட்டுள்ள படத்தில் காணலாம்.

முதல் படம் (a) தடையற்ற இயல்பு அதிர்வுகளைக் காட்டுகிறது. இதில் வீச்சு மாறாமல் ஒரே அளவாக உள்ளது. இரண்டாவது படம் (b) தொடர்ந்து வீச்சு குறையும் தடையுறு அதிர்வுகளைக் காட்டுகிறது. அதிர்வுகளுக்கு ஊடகத்தால் ஏற்படும் தடை அதிரும் பொருளின் வேகத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

8·3. தடையுறு அதிர்வுகளின் சமன்பாடு (Equation of damped Vibration)

தடையுறு அதிர்வுடன் இயங்கும் ஒரு பொருளை எடுத்துக் கொள்வோம். இது எதிர்ப்படும் தடை அதனுடைய திசை வேகத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கிறது. y என்பது ஏதாவது ஒரு நேரத்தில் அதன் இடப் பெயர்ச்சி எனக் கொண்டால் $\frac{dy}{dt}$ அதன் திசை வேகத்தையும் $\frac{d^2y}{dt^2}$ அதன் முடுக்கத்தையும் குறிக்கும்.

அதிரும் பொருள் கீழ்க்கண்ட இரு விசைகளுக்கு உட்படுத்தப் படுகிறது.

1. இடப் பெயர்ச்சிக்கு நேர்விகிதத்திலும் எதிர்த்திசையிலும் உள்ள மீட்கும் விசை (Restoring Force). இதை $-sy$ எனக் கொள்ளலாம்.

2. திசை வேகத்திற்கு நேர்விகிதத்திலும் எதிர்திசையிலும் உள்ள தடை (Resisting Force) இதை $-r.\frac{dy}{dt}$ எனக்கொள்ளலாம்.

m என்பது அதிரும் பொருளின் நிறையானால் அதன் மீது செயல்படும் விசை = நிறை × முடுக்கம்.

$$= m.\frac{d^2y}{dt^2}$$

ஆகவே தடைப்படும் அதிர்வின் சமன்பாடு

$$m.\frac{d^2y}{dt^2} = -sy - r\cdot\frac{dy}{dt}$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{r}{m}\frac{dy}{dt} - \frac{S}{m}y.$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -2K\frac{dy}{dt} - w^2y$$

$$\left[\frac{r}{m} = 2K, \frac{S}{m} = w^2 \text{ எனக் கொள்கிறோம்.}\right]$$

$$\therefore \frac{d^2y}{dt^2} + 2K\frac{dy}{dt} + w^2y = 0 \qquad \ldots\ldots(1)$$

இது ஒரு வகைக் கெழு சமன்பாடு (Second order Differential Equation) ஆகும்.

y-ன் மதிப்பைக் காண,

$y = Ae^{\alpha t}$ எனக் கொள்வோம் ......(2)

A-ம் α-ம் மாறிலிகள்.

$$\frac{dy}{dt} = A\alpha.e^{\alpha t}$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = A\alpha^2e^{\alpha t}$$

இவற்றை சமன்பாடு (1) ல் பொருத்தினல்

$$A\alpha^2e^{\alpha t} + 2KA\alpha\cdot e^{\alpha t} + w^2A.e^{\alpha t} = 0$$

$$Ae^{\alpha t}[\alpha^2 + 2K\alpha + w^2] = 0$$

$$\therefore [\alpha^2 + 2K\alpha + w^2] = 0$$

$$\alpha = \frac{-2K \pm \sqrt{4K^2 - 4w^2}}{2}$$

$$= -K \pm \sqrt{K^2 - w^2}$$

α க்கு இரு மதிப்புகள் உண்டு. அவையாவன,

(i) $\alpha_1 = -K + \sqrt{K^2 - w^2}$

(ii) $\alpha_2 = -K - \sqrt{K^2 - w^2}$

ஆகவே y-ன் மதிப்பை

$$y = A.e^{\left(-K+\sqrt{K^2-\omega^2}\right)t} + B.e^{\left(-K-\sqrt{K^2-\omega^2}\right)t}$$

என எழுதலாம்.

A, B ஆகியவை இரு மாறிலிகள்.

சிறப்பு வகைகள்

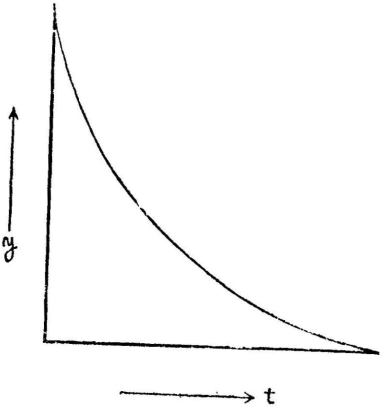
(1) $K^2 > \omega^2$ ஆக இருந்தால்

$\sqrt{K^2-\omega^2}$-ன் மதிப்பு நேர்க்குறியுடையதாயும் α_1, α_2 ஆகியவற்றின் மதிப்பு எதிர்க் குறியுடையதாகவும் இருக்கும்.

எனவே,

$$y = A \cdot e^{-\alpha_1 t} + B \cdot e^{-\alpha_2 t}$$

இதில் இரு பகுதிகள் உள்ளன. இரண்டும் (Exponentially) அடுக்குக் குறியாக குறைகின்றன. ஆகவே அதிரும் பொருள் மிக விரைவாக அதிரா நிலைக்கு வந்துவிடும். இதை அதிர்வற்ற (Aperiodic) அல்லது மிகத் தடையுற்ற (Over damped) அதிர்வுகள் என்கிறோம்.



படம் 52

அடர்த்தி மிகுந்த எண்ணெய்யில் அலையும் தனி ஊசலின் இயக்கம் இதற்கு ஒரு எடுத்துக்காட்டு.

(2) $K^2 < \omega^2$ என இருந்தால்

$(K^2-\omega^2)$ எதிர் குறியைக் கொண்டிருக்கும்.

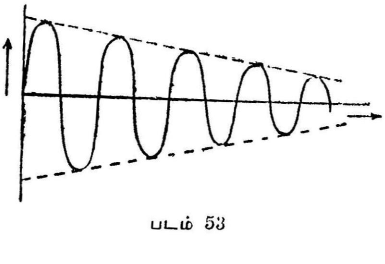
$\sqrt{K^2-\omega^2} = i\,P$ எனக் கொள்வோம்.

$i = \sqrt{-1}$ ஆகும்.

சமன்பாடு (3)

$$y = Ae^{(-k+ip)t} + B.e^{(-k-ip)t}$$
$$= e^{-kt}[A.e^{ipt} + Be^{-ipt}]$$
$$= e^{-kt}[A(\cos pt + i\sin pt) + B(\cos pt - \sin pt)]$$
$$= e^{-kt}[\cos pt(A+B) + i\sin pt(A-B)]$$
$$A+B = a\sin\phi$$
$$i(A-B) = a\cos\phi \text{ எனக் கொண்டால்}$$
$$y = e^{-kt}[\cos pt\, a\sin\phi + \sin pt\, a\cos\phi]$$
$$y = a e^{-kt}\sin(pt+\phi)$$

இது ஒரு சீரியல்பு இயக்கத்தைக் குறிக்கும். ஆனால் இதன் வீச்சு ae^{-kt} ஆக இருக்கிறது. நேரம் ஆக ஆக வீச்சு அடுக்குக் குறியாக (Exponentially) குறைந்து கொண்டே செல்லும். $\sin(Pt+\phi)$ன் மதிப்பு ± 1 எல்லைகளுக்கு (Limits) இடையே மாறுபடும். எனவே மேலே கண்ட கோவை சற்றே தடையுறும் (Slightly damped) இயக்கத்தைக் குறிக்கிறது. இந்த இயக்கத்தைக் குறிக்கும் படம் கீழே உள்ளது.



படம் 53

வீச்சுக் குறைவைக் காட்டும் K-ஒரு மாறு எண். இது தடைக் குணகம்(Damping co-efficient) அல்லது தடைக்கூறு (Damping factor) எனப்படும். வீச்சு ae^{-kt} நேரம் ஆக ஆக குறைந்து கொண்ட செல்லும் எனக் கண்டோம். இத்தகைய அதிர்வின் அலைவு நேரம்

$$= \frac{2\pi}{\sqrt{\omega^2 - K^2}}$$

$$\text{அதிர்வு எண்} = \frac{\sqrt{\omega^2 - K^2}}{2\pi}$$

தடை இல்லாதபோது ($K=O$), இது $\frac{\omega}{2\pi}$ என ஆகும். நடைமுறையில் பொதுவாக மிகக் குறைந்த மதிப்புடையதாக இருப்பதால் அதிர்வு எண் ஏறத்தாழ இயல்பு அதிர்வு எண்ணுக்கு சமமாக இருக்கும்.

மீண்டும் $y = ae^{-kt} \sin(pt+\phi)$

என்ற சமன்பாட்டை எடுத்துக் கொள்வோம். அலையின் துவக்கத்திலிருந்து நேரம் கணக்கிடப்பட்டால்,

நேரம் $t = o$ ஆக இருக்கும் போது $y = o$.

எனவே $\sin\phi = o$ $\phi = o$ ஆகும்.

இதனுல் துவக்க நிலை தகுதிகளுடன் எழுதினுல்

$$y = ae^{-kt} \sin pt$$

அடுத்தடுத்து வரும் வீச்சுகளை கணக்கிட $\frac{dy}{dt} = o$ எனக் கொள்வோம். ஏனெனில் பெரும இடப்பெயர்ச்சியில்,

திசைவேகம் $= O$.

$$\frac{dy}{dt} = ae^{-kt} P.\cos Pt - aKe^{-kt} \sin pt = o.$$

$$\therefore \tan pt = \frac{P}{K}$$

$\frac{P}{K}$-ன் மதிப்பு $Pt, (Pt+\pi), (Pt+2\pi)\ldots\ldots\ldots(Pt+N\pi)$

ஆகியவற்றிற்கு மாருமலிருக்கும். ஆகவே,

$$\tan pt = \tan p\left(t+\frac{\pi}{p}\right) = \tan p\left(t+\frac{2\pi}{p}\right) = \ldots\ldots\ldots\ldots$$

இதிலிருந்து பெரும வீச்சுக்கள் $\frac{\pi}{p}$ இடைவெளி நேரங்களில் தோன்றுகின்றன என்று தெரிகிறது.

$\sin pt = 1$ அல்லது $pt = \frac{\pi}{2}$ ஆக இருக்கும்போது y பெருமமதிப்பாக இருக்கும்.

$t = \frac{\pi}{2p}$ ஆக இருக்கும்போதுள்ள பெரும வீச்சு $= ae^{\frac{-K\pi}{2p}}$ ஆகும்.

அடுத்தடுத்துள்ள பெரு வீச்சுக்கள் $\frac{3\pi}{2p}, \frac{5\pi}{2p}, \frac{7\pi}{2p}$ ஆகிய நேரங்களில் கிடைக்கும்.

$ae^{\frac{-3K\pi}{2p}}, ae^{\frac{-5K\pi}{2p}}, ae^{\frac{-7K\pi}{2p}}$ ஆகியவை பெரும வீச்சுக்கள்.

அடுத்தடுத்துள்ள இருபெரும வீச்சுக்களின் தகவு $\frac{K\pi}{P}$ ஆகும். இதன் லாகிரிதம் அலையின் லாகிரித குறைவு (Logarithmic decrement) எனக் கூறப்படும்.

$$\lambda = \log_e e^{\frac{K\pi}{P}} = K\frac{\pi}{P}$$

$\frac{\pi}{P} = \frac{T_1}{2}$ (T_1 தடையுறு அதிர்வின் அலைவு நேரம் ஆகையால்

$$\lambda = K\frac{\pi}{2}$$

K-ன் மதிப்பைக் கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிடலாம்.

a_o துவக்க வீச்சையும் a_s, S அலைவுகளுக்குப் பிறகு வீச்சையும் குறித்தால்,

$$a_s = a_o\, e^{-kt}$$

$$\frac{a_o}{a_s} = e^{kt} = e^{\frac{KS}{f}} \qquad \therefore t = ST = \frac{S}{f}$$

f—அதிர்வு எண்

$$\log \frac{a_o}{a_s} = \frac{KS}{f}$$

$$K = \frac{f}{s} \log_e \frac{a_o}{a_s}$$

$$= 2\cdot303\, \frac{f}{s} \log\left(\frac{a_o}{a_s}\right)$$

f, s, $\left(\frac{a_o}{a_s}\right)$ ஆகியவை தெரிந்தால் K-யைக் கணக்கிடலாம்.

8·4. திணிப்பு அதிர்வுகள் அல்லது விசைப்படுத்தப்பட்ட அலைவுகள் (Forced Vibration)

அலை இயக்கம் உடைய எந்த ஒரு ஊடகத்திற்கும் ஒரு மீள் சக்தி இருக்கும். அதே நேரத்தில் அலை இயக்கத்திற்கு அந்த ஊடகம் ஒரு தடையை அளிக்கும். தடையுற்ற அலை இயக்கத்தை மேலே கண்டோம். அப்படிப்பட்ட ஒரு அலை இயக்கத்தை எடுத்துக்கொள்வோம்.

தடையுற்ற அலை இயக்கத்தில் தடையை எதிர்த்து அலை இயங்கும்போது அலையும் துகளின் ஆற்றல் (Energy) சிறிது சிறி

தாகக் குறைகிறது. அதனுல்தான் அதன் வீச்சு தொடர்ந்து குறைந்துகொண்டே செல்லுகிறது எனக்கண்டோம். சீரியல் பான இயக்கத்தில் இயங்கி ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் அலேயும் ஒரு விசை (Simple harmonic periodic force) தடையுறு அலே இயக்கத்தின்மீது செயல்படுவதாக வைத்துக் கொள்வோம். இயக்கம், இழந்த ஆற்றலே இந்த விசைமூலம் பெறுகிறது. இதனுல் தொடர்ந்து அலே இயக்கம் இருந்து வரும்.

துவக்கத்தில் தன் இயல் அதிர்வெண்ணேடு (Own natural frequency) அதிரும். பின் செயல்படும் விசையின் அதிர்வெண்ணும் சேர்ந்து இரண்டின் தொகுப்பின்படி அதிரும். இறுதியாக தன் அதிர்வு மடிந்துவிட, அதன் இயக்கம் செயல்படும் விசையின் அதிர் வெண்ணேடு தொடர்ந்து அதிர்ந்து கொண்டிருக்கும். இதற்குத் தான் விசைப்படுத்தப்பட்ட அல்லது திணிப்பு அதிர்வுகள் (Forced) எனப் பெயர். இதன் வீச்சு மாருமலிருக்கும். இதற்கான சமன் பாட்டைக் காண்போம்.

8·5. திணிப்பு அதிர்வின் சமன்பாடு

y என்பது எந்த ஒரு கணத்திலாவது நிலேப்புள்ளியிலிருந்து துகளின் இடப்பெயர்ச்சியாகக் கொள்வோம். y-ன் திசையில் $\frac{dy}{dt}$, $\frac{d^2y}{dt^2}$ என்பவை முறையே அதன் வேகத்தையும், முடுக்கத் தையும் குறிக்கின்றன. கீழ்க்கண்ட மூன்று விசைகளுக்கு அதிரும் துகள்/பொருள் உட்படுத்தப்படும்.

1. இடப் பெயர்ச்சிக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும் எதிர்த் திசையில் செயல்படும் ஒரு மீட்கும் விசை (Restoring force), $-sy$.

2. திசைவேகத்திற்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும் எதிர்த் திசையில் செயல்படும் ஒரு தடை, $-r\frac{dy}{dt}$.

3. $\left(\frac{P}{2\pi}\text{ அதிர்வு எண்ணுடைய}\right)$ வெளியிலிருந்து செயல் படும் விசை $F \sin pt$. (F-என்பது விசையின் பெருமமதிப்பு).

ஆக, அதிரும் பொருளின்மீது செயல்படும் மொத்த விசை

$$-sy - r.\frac{dy}{dt} + F\sin pt.$$

m என்பது அலேயும் பொருளின் நிறையானுல்
விசையின் மதிப்பு = நிறை × முடுக்கம்.

$$\therefore m \cdot \frac{d^2y}{dt^2} = -sy - r\frac{dy}{dt} + F\sin pt.$$

$$m\frac{d^2y}{dt^2} + r \cdot \frac{dy}{dt} + Sy = F\sin pt.$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{r}{m} \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{S}{m} \cdot y = \frac{F}{m}\sin pt.$$

$\frac{r}{m} = 2K,\ \omega^2 = \frac{S}{m},\ \frac{F}{m} = f$ எனக்கொண்டால்

$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2K \cdot \frac{dy}{dt} + \omega^2 y = f\sin pt \qquad \ldots\ldots (1)$$

இந்தச் சமன்பாடு ஒரு திணிப்பு அலை இயக்கத்தைக் குறிக்கிறது.

$y = A\sin(pt - \theta)$ என்ற சமன்பாட்டை எடுத்துக் கொள்வோம்

$$\frac{dy}{dt} = Ap \cdot \cos(Pt - \theta)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -Ap^2\sin(pt - \theta)$$

இவைகளை சமன்பாடு (1)ல் பொருத்தினால்,

$$-Ap^2\sin(pt-\theta) + 2K.Ap\cos(pt-\theta) + \omega^2 A\sin(pt-\theta)$$
$$= f\sin pt.$$
$$= f\sin(pt - \theta + \theta)$$
$$= f\sin(pt-\theta)\cos\theta + f\cos(pt-\theta)\sin\theta.$$

$\sin(pt-\theta)$, $\cos(pt-\theta)$ ஆகியவற்றின் குணகங்களைச் சமமாக்கினால்

$$f\cos\theta = A(\omega^2 - p^2) \qquad \ldots\ldots (2)$$

$$f\sin\theta = 2KAp \qquad \ldots\ldots (3)$$

இருமடியாக்கிக் கூட்ட,

$$f^2 = A^2(\omega^2 - p^2)^2 + 4K^2P^2A^2$$
$$= A^2[(\omega^2 - p^2)^2 + 4K^2p^2]$$

$$A = \frac{f}{\left[(\omega^2 - p^2)^2 + 4K^2P^2\right]^{\frac{1}{2}}} \qquad \ldots\ldots (4)$$

சமன்பாடு (3)ஐ (2)ல் வகுக்க.

$$\tan\theta = \frac{2KAP}{A(\omega^2-p^2)} = \frac{2KP}{(\omega^2-p^2)} \quad \text{......(5)}$$

சமன்பாடுகள் (4)ம் (5)ம் திணிக்கப்பட்ட அலைவின் வீச்சையும், கட்டத்தையும் குறிக்கின்றன.

$$y = \frac{f\sin(Pt-\theta)}{\left[(\omega^2-p^2)^2 + 4K^2p^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$

திசைவேகம் :

$$\frac{dy}{dt} = \frac{fp\cos(pt-\theta)}{\sqrt{(\omega^2-p^2)^2 + 4K^2\rho^2}}$$

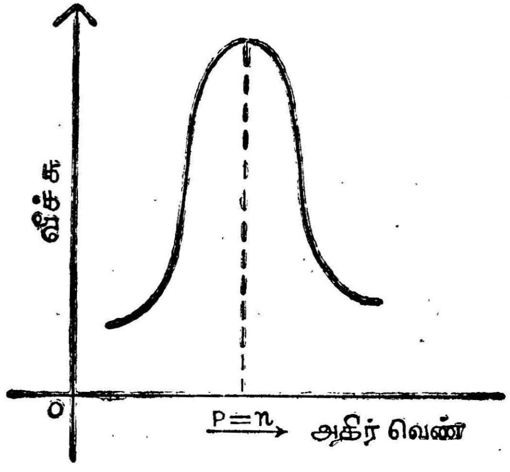
8·6. ஒத்ததிர்வு (Resonance)

இது திணிப்பு அதிர்வின் ஒரு சிறப்பு வகையாகும். அதிரும் பொருளின் இயல்பு, அலைவு நேரம் செயல்படும் விசையின் அலைவு நேரத்தோடு ஒன்றியிருக்கும்போது செயல்படும் விசை அதிர்வின் வீச்சு மிகுதிப்பட உதவுகிறது. இதனால் செயல்படும் விசையும் பொருளின் அதிர்வும் ஒரே கட்டத்தில் இருக்கும். செயல்படும் விசை அதிர்வின் வீச்சை மிகுதிப்படுத்துவதற்குப் பயன்படுகிறது. இத்தகைய அதிர்வுகள் ஒத்ததிர்வுகள் எனப்படும்.

8·7. ஒத்ததிர்வுக்கு எடுத்துக் காட்டுகள்

1. ஒரு இசைக்கவையின் ஒத்ததிர்வு பெட்டியை ஒத்ததிர்வுக்கு எடுத்துக்காட்டாகக் கொள்ளலாம். ஒரு இசைக்கவை அதிர்வடையும்படி செய்யப்பட்டால் அது ஒரு சுருதியை எழுப்பும். ஆனால் இந்த சுருதி மிகவும் உரப்பாக (Loud) இருக்காது. பொதுவாக ஒளியியல் அளவீடுகளில் இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணை படித்தரமாக (Standard) கொள்கிறோம். எனவே இசைக்கவை உரப்பான ஒலியை எழுப்ப வேண்டும். இதற்காக இசைக்கவையின் பிடி (Shank) ஒரு மரப்பெட்டியில் செங்குத்தாக பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இந்தப் பெட்டிக்கு ஒத்ததிர்வுப் பெட்டி (Resonance box) என்று பெயர். இது ஒரு பக்கம் திறந்துள்ள மெல்லிய பலகையிலான மரப்பெட்டி. மரப் பெட்டியின் பரிமாணங்கள் அதனுள் இருக்கும் காற்றின் அலைவு நேரம் இசைக்கவையின் அலைவு நேரத்தோடு ஒத்திருக்கு மாறு அமைக்கப்படும். பொதுவாக அதிரும் இசைக்கவையை நம் செவிக்கருகில் கொண்டு வந்தால்தான் அதன் ஒலியை

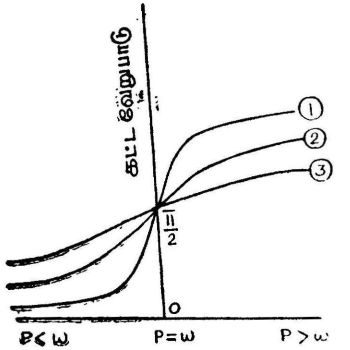
தெளிவாகக் கேட்க முடியும். ஆனால் அது பெட்டியின் மேல் பொருத்தப்பட்ட பின் பெட்டிக்குள் இருக்கும் காற்றும் இசைக்கவையோடு சேர்ந்து அதிருமாறு செய்யப்படுகிறது. இதனால் மிகு ஒலி கேட்கும். ஒலி அலைகள் வெளிச் செல்வதால் ஆற்றல் வேகமாகக் குறைந்து இசைக்கவையின் அதிர்வுகள் விரைவாக மடிந்துவிடும். திணிக்கப்பட்ட அலைவு இயக்கத்தில் உள்ள பொருளின் வீச்சு (Amplitude) செயல்படும் விசையின் அதிர்வு எண்ணைப் பொருத்து அமையும் என்பதைக் கண்டோம். விசையின் அதிர்வுஎண்தான் அலைவு இயக்கத்தின் வீச்சைத் தீர்மானிக்கிறது. இந்த விசையின் அதிர்வு எண்ணை மெது வாக அதிகரித்துக் கொண்டே போனால் வீச்சும் அதிகமாகிக் கொண்டே போகும். வீச்சு அதிகரிக்கும்போது அலைவு இயக்கத்தில்



படம் 54

உள்ள பொருளின் வேகமும், ஆற்றலும் அதிகரிக்கின்றன. அதிர்வு எண் $P=\omega$ என ஆகும்போது, திசைவேகமும், இயங்கு சக்தியும் பெரும மதிப்பை அடைகின்றன. வீச்சும் மிக அதிகமாக இருக்கும். அதன்பின் வீச்சின் மதிப்பு குறையத் தொடங்கும். $\omega=P$ என ஆகும்போது, அலைவு இயக்கத்தில் உள்ள பொருளும் செயல்படும் விசையும் ஒத்ததிர்வில் (Resonance) இருப்பதாகக் கூறப்படுகிறது. இந்த ஒத்ததிர்வு திசைவேக ஒத்ததிர்வு (Velocity Resonance) எனப்படும். பொருளின் அதிர்வு எண்ணும் விசையின் அதிர்வு எண்ணும் சமமாகும்போது ஒத்ததிர்வு ஏற்படுகிறது.

திணிப்பு அதிர்வின் கட்டம் (Phase)



படம் 55

திணிப்பு அதிர்வின் சமன்பாடு

$y = A \sin(pt - \theta)$ ...(1)

இது செயல்படும் விசைக்கு θ கோணம் பின்தங்கி (Lags behind) விடுகிறது.

$A(\omega^2 - p^2) = f\cos\theta$ ......(2)

$2KAP = f\sin\theta$ ......(3)

சமன்பாடு (3)ல்

2KAP என்பது நேர்க் குறியுடையது (Positive Quantity). அதனுல் θ-வின் மதிப்பு 0-வுக்கும் π-க்கும் இடையே இருக்கும். சமன்பாடு (2) லிருந்து

(i) $P<\omega$ ஆனுல் $\cos\theta$ நேர்க்குறி கொள்ளும்.

θ-ன் மதிப்பு 0-வுக்கும் $\frac{\pi}{2}$வுக்கும் இடையே இருக்கும்.

(ii) $P>\omega$ ஆனுல் $\cos\theta$ எதிர்க்குறி கொள்ளும்.

θ-ன் மதிப்பு $\frac{\pi}{2}$வுக்கும் πக்கும் இடையே இருக்கும்

(iii) $P = \omega$ ஆனுல் $\cos\theta = 0$; θ-ன் மதிப்பு $\frac{\pi}{2}$

எனவே திணிப்பு அதிர்வு, 0 விலிருந்து π வரை மதிப்பு மாறும் ஒரு கோணத்தால் (θ), செயல்படும் விசைக்குப் பின்தங்கி இருக்கும் (Lags behind).

8·8. கட்டத்தின் மேல் தடையின் விளைவு (Effect of damping on Phase)

சமன்பாடுகள் (2) (3) லிருந்து

$$\tan\theta = \frac{2KP}{\omega^2 - p^2}$$

K-ன் மதிப்பு மிகச் சிறியதாக இருந்தால்

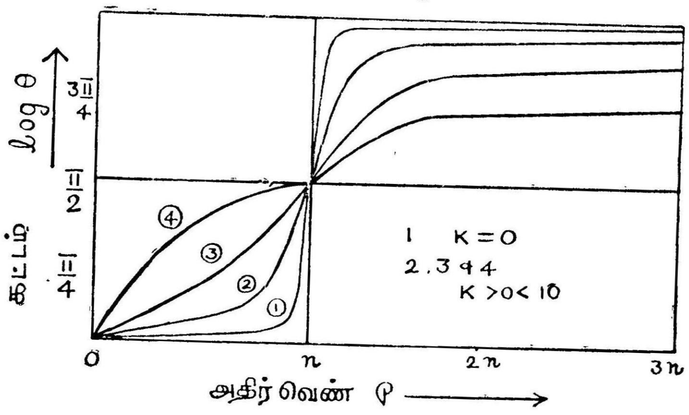
$$\tan\theta = \frac{2KP}{\omega^2 - p^2} \doteqdot o$$

ஆகையால் $P > \omega$, ஆனல் tan θ மிகக்குறைந்த நேர்க்குறி மதிப்பைக் கொள்ளும்.

$$P = \omega \text{ ஆனல் } \tan\theta = \sim$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} \text{ ஆகும்.}$$

ஆகவே தடைமிகக் குறைவாக இருக்கும்போது, விசைப்படுத்தப் பட்ட அதிர்வு செயல்படும் விசையுடன் ஒன்றி ($\theta \doteq 0$) அல்லது எதிர்த்து $\left(\theta = \frac{\pi}{2}\right)$ இருக்கும். இது விசையின் அதிர்வு எண், பொருளின் இயற்கையான அதிர்வெண்ணுக்கு மிகுந்தோ அல்லது குறைந்தோ இருக்கும்போது ஏற்படும் ஒத்ததிர்வின்போது ($p = \omega$) திணிப்பதிர்வு, விசைக்கு $90° \left(\frac{\pi}{2}\right)$ பின் தங்கியே இருக்கும்.



படம் 56

(கால் அலைவு நேரம்). இடப்பெயர்ச்சி பெரும மதிப்பாகவும் விசை சிறும மதிப்பாகவும் அல்லது மாறியும் இருக்கும். இந்த மாறுபாடு pக்கும் ωக்கும் இடையே உள்ள தொடர்பைப் பொருத்தது. கட்டக் கோணத்திற்கும் (Phase angle), ω-க்கும் உள்ள தொடர்பு வரைபடத்தில் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இப்போது

$P < \omega$ ஆனல், tan θ மிகக்குறைந்த (நேர்க்குறி மதிப்புடைய) தாக இருக்கும். θ ஏறத்தாழ $= 0$,

$P > \omega$ ஆனால் tan θ மிக்க்குறைந்த எதிர்க்குறி மதிப்புடையதாக இருக்கும். θ ஏறத்தாழ $= \pi$. $P = \omega$ ஆனால் tan $\theta = \sim$ எனவே, $\theta = \frac{\pi}{2}$ ஆகும்.

ஆகவே தடைமிகக் குறைந்திருக்கும்போது திணிக்கப்பட்ட அதிர்வுகள் ஒரே கட்டத்தில் (In Phase) ($\theta \longrightarrow O$) இருக்கும். அல்லது திணிப்பதிர்வின் அதிர்வு எண், இயல்பு அதிர்வு எண்ணுக்கு மிகுந்தோ அல்லது குறைந்தோ இருந்தால் அவை ஒன்றுக்கொன்று எதிர்க்கட்டத்தில் இருக்கும். (Out of Phase)

8·9. ஒத்ததிர்வின் கூர்மை (Sharpness of Resonance)

செயல்படும் விசையின் அதிர்வு எண்ணை அதிகரித்துக் கொண்டே போனால் அது அதிரும் பொருளின் இயல்பு அதிர்வெண்ணுக்கு சமமாகும்போது ஒத்ததிர்வு ஏற்பட்டு வீச்சு பெருமதிப்பாக இருக்கும் எனக்கண்டோம். இந்த அதிர்வெண்ணிலிருந்து இரு பக்கங்களிலும், செயல்படும் விசையின் அதிர்வெண் மாறுபடும் போது வீச்சு குறைகிறது. இந்த வீச்சுக் குறைவைத்தான் ஒத்ததிர்வின் கூர்மை எனச் சொல்லுகிறோம்.

திணிப்பு அதிர்வின் வீச்சு

$$A = \frac{f}{[(\omega^2 - p^2)^2 + 4\ K^2P^2]^{\frac{1}{2}}}$$

A-ன் மதிப்பு P-ன் மதிப்பைப் பொருத்து மாறுகிறது. P ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பைப் பெறும்போது A பெருமதிப்புடையதாக இருக்கும்.

$$\frac{d}{dp}\left[(\omega^2 - p^2)^2 + 4\ K^2p^2\right] = O$$

$$2\ (\omega^2 - p^2)^2\ (-2p) + 4k^2\ 2p = O$$

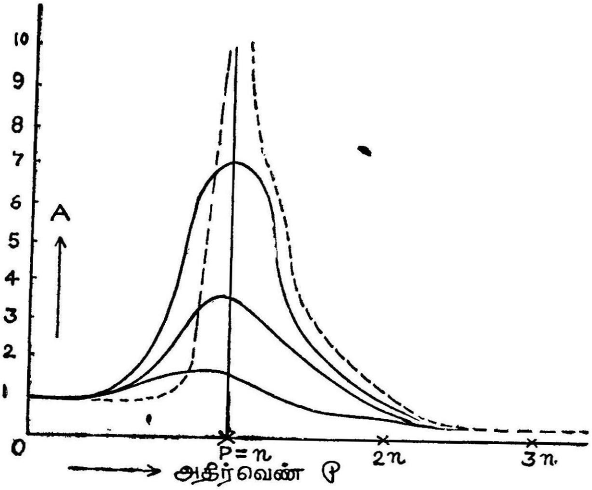
$$p^2 = \omega^2 - 2k^2$$

ஆகவே பெரும வீச்சிற்கு, P-ன் மதிப்பு, ω-ன் மதிப்பைவிட சிறிதளவு குறைவாக இருக்கவேண்டும். K மிகச் சிறியதாக இருந்தால் (ω^2 உடன் ஒப்பிடப்படும்போது) $2K^2$-ஐ விட்டு விடலாம். அப்போதுதான் ஒத்ததிர்விற்கான தகுதி $p = \omega$ என ஆகிறது.

$P^2 = \omega^2 - 2K^2$ என்று சமன்பாடு (1)ல் பொருத்தினால்,

$$A\ \max = \frac{f}{2k\sqrt{\omega^2 - k^2}} = \frac{f}{2k\sqrt{\omega^2 + k^2}}$$

K-ன் மதிப்பு குறையக்குறைய பெரும வீச்சின் மதிப்பு மிகுந்து கொண்டே போகும். படம் 57 P-ன் மதிப்புக்கும் (வெவ்வேறு மதிப்புடைய K) வீச்சு Aக்கு இடையே வரையப்பட்ட வரை படத்தைக் காட்டுகிறது. $\frac{P}{2\pi} = \omega$ ஆக x-அச்சில் மதிப்புகள் எடுத்துக்கொள்ளப் பட்டிருக்கின்றன. மேலேயுள்ள வளைகோடு தடையற்ற ($K = O$) இலட்சிய வகை (Ideal case)யைக் குறிக் கிறது. இங்கு வீச்சு முடிவற்ற எல்லை வரை (Infinity) செல்லு கிறது. ($p = \omega$ ஆகும் போது) மற்ற வளைகோடுகளிலிருந்து அறியப் படுபவை,



படம் 57

(i) ω-ன் மதிப்பைவிட P-ன் மதிப்பு சற்று குறையும்போது வளை கோட்டின் உச்சி (Peak) கிடைக்கிறது. K-ன் மதிப்பு மிக, P-ன் பெரும வீச்சுக்கான மதிப்பு குறையும்.

(ii) K-ன் மதிப்பு மிக வளைகோட்டின் உச்சி கீழ்நோக்கி இறங்கு கிறது. தடைமிகுந்தால் திணிப்பதிர்வின் பெரும வீச்சு குறையத் துவங்கும்.

(iii) குறைந்த தடைக்கு வளைகோடுகள் உச்சிக்கு இரு பக்கங் களிலும் மிகுதடைக்கு இருப்பதைவிட செங்குத்தாக சரியும். தடை குறைவாக இருக்கும்போது வீச்சு மிகுதடைக்குக் குறை வதைவிட விரைவாகக் குறைகிறது.

ஒத்ததிர்வு தகுதியில் இருந்து சிறிது விலகும்போது வீச்சுக் குறைவு கணிசமான அளவு (Considerable) இருந்தால் ஒத்ததிர்வு

கூர்மையானது (Sharp) என்று சொல்லப்படுகிறது. வீச்சுக் குறைவு சிறியதாக இருந்தால் ஒத்ததிர்வு கூர்மையற்றது என்று சொல்கிறோம்.

எனவே ஒத்ததிர்வின் கூர்மை என்பது P-ன் மதிப்பு ஒத்ததிர்வு மதிப்பிலிருந்து மாறும்போது தோன்றும் வீச்சுகளின் குறைவு எனக் கொள்ளலாம். ω-வும் P-யும் அதன் இரு மடிகளில் தோன்றுவதால் ஒத்ததிர்வு தகுதியில் இருந்து சிறிது மாறுபட்டாலும் அதன் விளைவு மிக அதிகமாக இருக்கும். இதனால் கூர்மை மிகுந்திருக்கும். இதைத்தான் நாம் வீச்சு வளைகோடுகளிலிருந்து அறிகிறோம்.

எடுத்துக்காட்டுகள்

1. 'l' நீளமுடைய ஒரு சுருள் கம்பியிலிருந்து (Spring) நிறை 'm' தொங்கவிடப்படுகிறது. சுருள்வில்லின் நிறை m-உடன் ஒப்பிடப்படும்போது தள்ளப்படும் அளவுக்குச் சிறியது. நிறை 'm' சீரியல்பு இயக்கத்திலிருக்கும்போது அதன் அலைவு நேரத்தைக் கணக்கிடு.

நடுநிலையிலிருந்து y தொலைவு சுருள் கம்பி நீண்டிருக்கும்போது அது நிலை ஆற்றலை (Potential energy) பெற்றிருக்கும்.

நிலை ஆற்றல் $P = \frac{1}{2} \mu y^2$

$$\mu = \frac{S}{l} \cdot q$$

q-என்பது சுருள் கம்பி செய்யப்பட்டுள்ள பொருளின் யங்கின் குணகம்.

S—குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு.

l—நீளம்.

தொங்க விடப்பட்டுள்ள நிறையின் இயங்கு ஆற்றல்

$$= \frac{1}{2} m. \left(\frac{dy}{dt}\right)^2$$

சுருள்கம்பியின் இயங்கு ஆற்றலைக் கணக்கிட சுருள் கம்பி பொருத்தப்பட்டுள்ள இடத்தை துவக்கப்புள்ளியாகக் கொண்டு சுருள் கம்பியின் நீளவாக்கில் x-அச்சு எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. δx நீளமுள்ள கம்பியின் ஒரு துண்டு தொடக்கப்புள்ளியில் இருந்து x தொலைவில் இருக்கட்டும்.

ஆகவே அதன் இயங்கு ஆற்றல்

$$= \frac{1}{2}\left(\frac{m}{e}\,\delta x\right)\left(\frac{dy}{dt}\,\frac{x}{e}\right)^2$$

முழு சுருள்கம்பியின் இயங்கு ஆற்றல்.

$$= \int_0^l \frac{1}{2}\,\frac{m}{e}\,\delta x\left(\frac{dy}{dt}\,\frac{x}{e}\right)^2$$

மொத்த இயங்கு ஆற்றல்

$$K = \frac{1}{2}\,m\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \int_0^l \frac{1}{2}\,\frac{m}{e}\,\delta x.\left(\frac{dy}{dt}\,\frac{x}{e}\right)^2$$

$$= \frac{1}{2}\,m\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \frac{1}{2}\frac{m}{e^2}\left(\frac{dy}{dt}\right)^2\left[\frac{x^3}{3}\right]_0^l$$

$$= \frac{1}{2}\,m\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \frac{m}{2l^3}\left(\frac{dy}{dt}\right)^2\,\frac{l^3}{3}$$

$$= \frac{1}{2}\,m\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \frac{1}{6}\,m\left(\frac{dy}{dt}\right)^2$$

$$= \frac{1}{2}\left[m + \frac{m}{3}\right]\left(\frac{dy}{dt}\right)^2$$

$$= \frac{1}{2}\,m_1\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 \qquad m_1 = \left[m + \frac{m}{3}\right]$$

வெளியிலிருந்து ஆற்றல் வராததாலும், ஆற்றல் இழப்பு இல்லாததாலும்

மொத்த ஆற்றல் $(K + P) =$ மாறிலி.

மொத்த ஆற்றல் $= \frac{1}{2}\,m_1\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \frac{1}{2}\,\mu\,y^2 =$ மாறிலி

இதை $\frac{d^2y}{dt^2} + n^2y = 0$ என்ற

சமன்பாட்டோடு ஒப்பிட்டால்,

$$n^2 = \frac{\mu}{m}$$

அலைவு நேரம் $T = \frac{2\pi}{n} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{m}{\mu}}}$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m + \frac{m}{3}}{\mu}}$$

2. நிலையில் இருந்து துவங்கும் ஒரு தடையுறு அதிர்வின் துவக்க வீச்சு 0·506 மீட்டராகும். 50 முழு அதிர்வுகளுக்குப் பின் அது 0·160 மீட்டராக குறைகிறது. அலைவு நேரம் 2·3 விநாடிகள். தடை குணகத்தையும் துவக்க இடப்பெயர்ச்சிக்கான திருத்தத்தையும் கணக்கிடு.

சமன்பாடுலிருந்து

$$K = 2 \cdot 303 \ \frac{f}{p} \log_{10} \frac{a_o}{a_p}$$

$$f = \tfrac{1}{2} \cdot 3, \ P = 50$$

$$K = 2 \cdot 303 \ \frac{1}{2 \cdot 30 \times 50} \log_{10} \frac{0 \cdot 506}{0 \cdot 160}$$

$$\doteq 0 \cdot 01$$

துவக்க வீச்சு $\frac{1}{4}$ அலைவு நேரத்தில் கிடைக்கும்.

$$= 0 \cdot 25 \times \text{அலைவு நேரம்}$$

'a'-என்பது தடையற்ற வீச்சாக இருக்கட்டும்.

$$0 \cdot 01 = \frac{2 \cdot 303}{2 \cdot 3 \times 0 \cdot 25} \log_{10} \frac{a}{0 \cdot 506}$$

$$\log \frac{a}{\cdot 506} = 0 \cdot 01 \times 0 \cdot 25 = \cdot 0025$$

$a = \cdot 509$ மீட்டர்

தடைக்கான திருத்தம்

$$= \cdot 509 - \cdot 506$$

$= \cdot 003$ மீட்டர் ஆகும்.

வினாக்கள்

1. இயல்பு அதிர்வுகள், திணிப்பு அதிர்வுகள், ஒத்த அதிர்வு ஆகியவற்றை விளக்கி எழுது. பல்கூட்டு ஒலியை பகுப்பாய ஒத்ததிர்வு எவ்வாறு பயன்படுகிறது?

2. எடுத்துக்காட்டுகளுடன் திணிப்பு அதிர்வுகளையும், ஒத்ததிர்வையும் விளக்கி எழுதுக. ஆர்கன் குழலில் அதிர்வுகள் எவ்வாறு காக்கப்படுகின்றன?

3. ஒத்ததிர்வின் கூர்மை என்றால் என்ன? அது எந்தெந்த கூறுகளை (Factors) பொருத்து அமையும்?

4. அதிரும் இசைக்கவையின் பிடியை சோனாமீட்டர் பெட்டியின் மீது வைத்தால் ஒலியின் வலிமை மிகுவது ஏன் என்று விளக்கி எழுது.

5. திணிப்பு அதிர்வுகள் என்பதற்கு ஒரு விளக்கம் கொடு. திணிப்பு அதிர்வின் வீச்சு அதிரும் பொருளின் அதிர்வு எண்ணை எவ்வாறு பொருத்திருக்கிறது?

6. பகுப்பாய்வு முறையில் திணிப்பு அதிர்வுகளையும், ஒத்ததிர்வுகளையும் விளக்கு.

7. இயல்பு அதிர்வுகள், திணிப்பு அதிர்வுகள் இவற்றை விளக்கி எழுது. ஒத்ததிர்வுக்கு ஒரு நல்ல விளக்கம் கொடு. ஒத்ததிர்வின் பயன்கள் யாவை?

8. ஒரு தடையுறு அதிர்வில் முதல் வீச்சு ·5 மீட்டர் ஆகும். 100 அலைவுகளுக்குப்பின் இது ·05 மீட்டராகக் குறைகிறது. அலைவுநேரம் 2·3 வினாடிகளானால் தடைக்கூறையும் முதல் வீச்சுக்கான திருத்தத்தையும் கணக்கிடு.

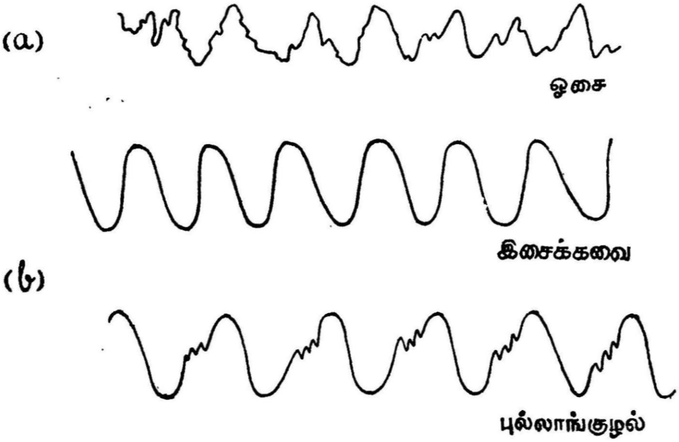
9. திணிப்பு அதிர்வுகள் என்றால் என்ன? தடையுறு சீரியல்பு இயக்கத்தில் உள்ள ஒரு துகளின் மீது அலைவுறும் ஒரு வெளிவிசை செயல்படுகிறது. இதனால் தோன்றும் தொகுப்பு திணிப்பு அதிர்வுகளை விவரி. எப்போது ஒத்ததிர்வு தோன்றும் என்று கண்டுபிடி.

9. இசை ஒலிகளின் குணங்களும் அவற்றின் பகுப்பாய்வும்

(Characteristics of Musical Sounds and their analysis)

9·1. இசை ஒலிகளும், ஓசைகளும்

ஒலி என்பது பொருள்கள் அதிர்வதால் தோன்றுகிறது. இந்த அதிர்வு ஒரு ஊடகத்தின் வழியே பரவுகிறது. இந்த அதிர்வானது ஒரே சீராக மாறி மாறி ஒரே அளவான இடை நேரத்துடன் நிகழ்வதாகவோ, அல்லது சீரற்ற ஒரே அளவில்லாததாகவோ இருக்கலாம். சீரான அலைவாக இருந்தால் அந்த ஒலி



படம் 58

செவிக்கு இன்பம் பயப்பதாக இருக்கும். மிகக் குறுகிய கால இடைவெளியை உடைய ஒலியலைகள் செவிக்குத் துன்பம் தருவதாக அமையும். செவிக்கு இன்பம் பயக்கும் ஒலியலைகளை இசை

ஒலிகள் என்கிறோம். மற்றவை ஓசை எனப்படும். புல்லாங்குழல், வீணையின் நரம்பு, இசைக்கவை ஆகியவை எழுப்பும் ஒலிகள் இசை ஒலிகளாகும். அடித்து மூடப்படும் கதவு, தெருவில் செல்லும் கட்டை வண்டி, துப்பாக்கி சுடும் ஒலி ஆகியவை எழுப்பும் ஒலி ஓசைக்கு எடுத்துக் காட்டுகளாகும். ஓசை என்பது திடீரெனத் தோன்றும் ஒலி ஆகும். இதன் குணங்கள் சிக்கலானவை, அவை ஒழுங்கற்ற அலைவு உடைய அதிரும் பொருள்களால் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. படம் ஓசைக்கும், இசை ஒலிக்கும் இடையே உள்ள வேறுபாட்டைக் காண்பிக்கிறது.

முதல் படம் (a) ஓசையின் ஒழுங்கற்ற அலைவைக் காண்பிக்கிறது. இதற்கு ஒரு ஒழுங்கான அலைவோ குறிப்பிட்ட அலைவு நேரமோ இல்லை. அதன் குணங்கள் மிகவும் சிக்கலானவை.

இரண்டாவது படம் (b) இசைக்கவையின் அலைவையும், புல்லாங்குழல் எழுப்பும் ஒலியின் அலைவையும் காண்பிக்கிறது.

இவை ஒழுங்கான குறிப்பிட்ட அலைவு நேரமும், வீச்சும் உடையவை. இவை திடீரென்று உயரும் வீச்சைக் காண்பிப்பதில்லை. வீச்சு சீராக உள்ளது. ஆகவே இசை ஒலியின் முதன்மையான குணங்களாவன: (a) பருவ நிகழ்வு (periodicity) (b) ஒழுங்கான அலைவு (c) தொடர்ச்சி. ஆனால் ஓசைகள் இந்த குணங்களைப் பெற்றிருப்பதில்லை.

மூன்று விதங்களில் இசை ஒலிகள் ஒன்றுக்கொன்று வேறுபட்டிருக்கும். அவையாவன: 1. உரப்பு (Loudness) 2. சுருதி (Pitch) 3. சுரப்பண்பு (Timbre)

9·2. உரப்பு (Loudness)

இது இசை, ஓசை ஆகிய இரண்டிற்கும் பொதுவான ஒரு குணம். இது செவிப்பறையில் ஒலியலை தோற்றுவிக்கும் உணர்வின் அளவு ஆகும். இது ஒலியின் வலிமையைப் (Intensity of Sound) பொருத்தது. ஒலியின் வலிமை என்பது ஒரு பௌதிக அளவாகும். ஒலி விரையும் திசைக்குச் செங்குத்தாக ஒரு அலகு பரப்பில் ஓர் அலகு நேரத்திற்குக் கடந்து செல்லும் ஆற்றலின் அளவை ஒலியின் வலிமை எனச் சொல்லுகிறோம். முன்பு கண்டபடி ஒலியின் வலிமை அந்த ஒலி அலையின் வீச்சின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். ஒலியின் வலிமைக்கும் (Intensity). உரப்புக்கும் (Loudness) வேறுபாடு உண்டு. வலிமை என்பது பௌதிக அளவீடு. உரப்பு என்பது செவிப்பறை உணரும் உணர்வின் அளவு. இந்த உரப்பு ஒலியின் வலிமையையும், செவியின்

உணர்திறனையும் (Sensitiveness) பொருத்தது. இது வலிமைக்கு நேர் விகிதத்தில் உயராது. ஆனால் உரப்பு Log Iக்கு நேர் விகிதத்தில் அமையும்.

ஒலியின் வலிமை என்பது ஒரு பௌதிக அளவீடு (Physical Measurement) ஆகும் எனக் கூறினோம். அதை ஒரு ஒலியியல் கருவி கொண்டு அளக்கலாம். அதற்கு செவியின் துணையோ அல்லது கேட்பவரோ தேவையில்லை. ஆனால் உரப்பு என்பது கேட்பவருடைய செவி உணர்வால் அறியப்படுவது. இது முழுவதும் ஒரு பௌதிக குணம் அல்ல. இது கேட்கும் செவியின் உணர்திறனையும் பொருத்தது. ஆகவே பௌதிகக் கருவி (Physical Apparatus) யால் அளக்க முடியாதது. கேட்கும் ஒரே ஆள் ஒரே வலிமையுடைய இரு ஒலி அலைகளின் உரப்புப் பற்றி வெவ்வேறு விதமாகச் சொல்லலாம். ஒரே வலிமையாக இருந்தாலும் தனித்தனி அதிர்வெண்களுடைய ஒலி தனித்தனி உரப்புகளைத் தோற்றுவிக்கும்.

(1) உரப்பு ஒலியலையின் வீச்சைப் பொருத்தது

ஒரு சோனாமீட்டர் கம்பியை அதிர்வடையச் செய். கம்பியின் வீச்சையும், ஒலியின் உரப்பையும் கவனி. மீண்டும் கம்பியை அதிக விசையோடு இழுத்து அதிர்வடையச் செய். இப்போது அதிர்வின் வீச்சு அதிகமாகவும், அதே நேரத்தில் உரப்பு மிகுந்த ஒலியும் கேட்கும். ஆகவே வீச்சுக் குறையும்போது உரப்பும் குறையும். ஒலியின் வலிமை வீச்சின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்தில் இருப்பதாகக் கண்டோம்.

$$I \propto A^2$$

வீச்சு இருமடங்காகும்போது, வலிமை நான்கு மடங்காக உயருகிறது. உரப்பு Log I-ஐப் பொருத்து அமைவதால் வலிமை உயர உரப்பும் உயரும்.

(2) ஒலிக்கும் பொருளின் உருவ அளவைப் (Size) பொருத்தது

ஒரு பெரிய அதிரும் பரப்பு, மிகுந்த அளவில் ஆற்றலைத் தோற்றுவிக்கும். ஆகவே உரப்பு என்பது ஒலிக்கும் பொருளின் உருவ அமைப்பைப் பொருத்து அமையும். பெரிய பொருள்கள் உரப்பு மிகுந்த ஒலியை எழுப்பவல்லவை. சிறிய பொருள்கள் உரப்புக் குறைந்த ஒலிகளையே எழுப்பும். எடுத்துக்காட்டாக சிறிய இசைக்கவை உரப்புக் குறைந்த ஒலிகளை எழுப்புவதைக் காணலாம். இதை ஒரு பலகையின் மீது வைத்தால் உரப்பு மிகுவதைக் காணலாம். ஏனெனில் பலகையும் இசைக்கவையால்

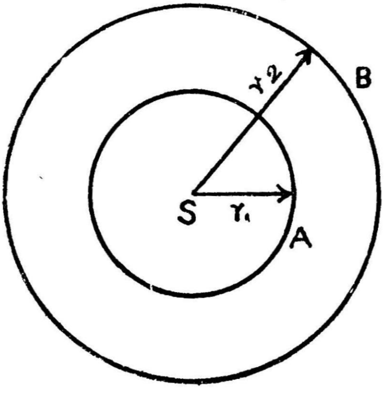
அதிர்வடையச் செய்யப்படுகிறது. இதனால்தான் பெரிய கோயில் மணிகளின் ஒலி நெடுந்தொலைவு கேட்கிறது.

(3) ஒலிமூலம் உள்ள தொலைவைப் பொருத்தது

A, B என்ற இரண்டு கோளப் பரப்பை எடுத்துக் கொள்வோம். அவற்றின் பொது நடுப்புள்ளியில் ஒரு ஒலி மூலம் (Source) இருப்பதாகக் கொள்வோம். r_1, r_2 என்பவை கோளங்களின் ஆரங்களாகும். *A* கோளத்தின் மேற்பரப்பில் ஓரலகு பரப்பளவில் ஒரு வினாடிக்கு வெளிச்செல்லும் ஆற்றல்.

$$I_1 = \frac{E}{4\pi\, r_1^2}$$ [*E* என்பது ஒரு வினாடிக்கு வெளியாகும் மொத்த ஆற்றல்]

இதே போல் *B* கோளத்தின் மேற்பரப்பில் வினாடிக்கு ஓரலகு பரப்பில் வெளிச்செல்லும் ஆற்றல்.



படம் 59

$$I_2 = \frac{E}{4\pi\, r_2^2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{E}{4\pi\, r_1^2} + \frac{4\pi\, r_2^2}{E}$$

$$\boxed{\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}}$$

ஒலி மூலம் ஆற்றலை எல்லாத் திசைகளிலும் சீராக அனுப்புகிறது எனக் கொண்டால், ஒரு புள்ளியில் ஒலியின் வலிமை ஒலி மூலத்தி

லிருந்து அந்தப் புள்ளியின் தொலைவின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

(4) ஊடகத்தின் அடர்த்தியைப் பொறுத்தது

ஒலியின் இயங்கு ஆற்றல் ஊடகத்தின் அடர்த்தியைப் பொறுத்து அமையும். ஆகவே ஒலியின் உரப்பும், அடர்த்தியைப் பொறுத்து உயரும். ஊடகத்தின் அடர்த்தி உயர ஒலியின் உரப்பும் உயரும்.

உரப்பை அளவிடுதல் (Measurement of Loudness)

ஒலியின் உரப்பு செவியால் உணரப்படுகிறது. அது Log *I*-க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது. இது சோதனை முறையில் சரிபார்க்கப் பட்ட ஒரு உண்மை. I_1, I_0 என்பவை ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர் வெண் உடைய ஒலி அலைகளின் வலிமைகள். L_1, L_0 என்பவை முறையே அவற்றின் உரப்புகள் ஆகும்.

$$L_1 \propto \log_{10} I_1$$

$$L_1 = K.\log_{10} I_1$$

$$L_0 = K.\log_{10} I_0$$

இந்த இரு உரப்புகளுக்கும் இடையே உள்ள வேறுபாட்டுக்கு வலிமை மட்டம் (Intensity Level) எனப் பெயர்.

$$L = L_1 - L_0$$

$$L = K(\log_{10} I_1 - \log_{10} I_0)$$

$$\boxed{L = K \log_{10} I_1/I_0}$$

K என்பது ஒரு மாறிலி. I_0 என்பது படித்தர குறிப்பு வலிமை (Standard Reference Intensity) ஆகும். இதன் மதிப்பு 10^{15} கிலோவாட்/ச.மீட்டர். இது *1000* அதிர்வெண் உடைய ஒலியை செவி உணரத் தொடங்கும் (Threshold of audibility) போது அந்த ஒலியின் வலிமைக்குச் சமமாகும்.

9·3. டெசிபெல் (The Decibel)

மேலே கண்ட சமன்பாட்டில் *K*-ன் மதிப்பு **1** எனக் கொண்டால் உரப்புகளின் வேறுபாடு பெல் (Bel) என்ற அலகால் குறிக்கப்படுகிறது. இந்த அலகு அலெக்ஸாண்டர் கிரகாம் பெல் என்பவரின் நினைவாக உள்ளது. இவர்தான் தொலைபேசியைக் கண்டுபிடித்தவர். இந்த உரப்பின் அலகு மிகப் பெரியதாக இருப்பதால் இதில் *10*-ல் ஒரு பங்கை டெசிபெல் (*db*) எனக்

குறிப்பிடுகிறோம். இது ஒரு படித்தர அலகு (Standard Unit) ஆகும். ஆகவே உரப்புகளின் வேறுபாட்டை டெசிபெலில் குறித்தால்

$$L = 10.\log_{10}(I_1/I_0) \text{ டெசிபெல்கள்}$$

L = ஒரு டெசிபெல் என்றால், $1 = 10 \log_{10}(I_1/I_0)$

$$\therefore \log_{10}\frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{10}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = 1{\cdot}26$$

அதாவது ஒலி வலிமையில் 26% (26 சதவீதம்) மாற்றம், வலிமை மட்டத்தை ஒரு டெசிபெல் அளவு மாற்றுகிறது. இது மிகச் சிறிய மாற்றம். பொதுவாக இந்த மாற்றத்தை செவி உணராது.

$I_1 = 100\ I_0$ ஆக இருக்கும்போது

$$L = 10 \log_{10} 100$$

$$L = 10 \log_{10} 10^2$$

$L = 20$ டெசிபெல்

இதேபோல் $I_1 = 1000\ I_0$ ஆக இருக்கும்போது

$$L = 10 \log_{10} 1000$$

$L = 30$ டெசிபெல்

இதிலிருந்து இரு ஒலிகள் 20 டெசிபெல்கள் வேறுபாடுடையன வாக இருந்தால் அவற்றில் உரப்பு மிக்க ஒலியின் வலிமை மற்றதைவிட 100 பங்கு மிகுந்திருக்கும், எனத் தெரிகிறது. இதே போல் வேறுபாடு 30 டெசிபெல்கள் ஆனால் ஒன்றின் வலிமை மற்றதைப்போல் 1000 பங்கு மிகுந்தது.

உரப்பின் அளவீட்டுக்காக நாம் ஒரு சுழிநிலையைக் குறிக்க வேண்டும். செவி உணரத் தொடங்கும் (Threshold of hearing) உரப்பு நிலையை இந்த அளவீட்டின் சுழிநிலையாகக் (Zero) கொள்ள லாம். ஒலியின் வலிமை $I_0 = 10^{-15}$ கிலோவாட்/மீட்டர்^{2} ஆக இருக்கும்போது செவி உணரத் தொடங்குகிறது. செவி வலியறி யாமல் (Pain) தாங்கக் கூடிய ஒலியின் வலிமை 10^{-3} வாட்/மீட் டர்^{2} ஆகும்.

$$L = 10 \log_{10}\left(\frac{10^{-3}}{10^{-15}}\right)$$

$$L = 10 \log_{10} (10^{12})$$

$L = 120$ டெசிபெல்கள்

கீழேயுள்ள அட்டவணை சில ஒலிகளின் உரப்பை டெசிபெல் அளவுகளில் காண்பிக்கிறது.

எண்	ஒலி மூலம்	வலிமை மட்டம் டெசி பெல்களில்
1.	செவியுணர்வின் தொடக்கம்	0
2.	இலைகளின் சலசலப்பு	10
3.	தாழ்ந்த குரல் (whisper)	15—20
4.	இயல்பான சொல்லோசைகள்	60—65
5.	மோட்டார் வண்டி அல்லது தெருப் போக்குவரத்து	70—80
6.	20 அடியில் உறுமும் சிங்கத்தின் குரல்	90
7.	இடி இடித்தல்	100—110
8.	செவி வலிக்கும் ஒலிகள்	130 அதற்கு மேலேயும்

9·4. ஃபோன் (Phone)

மேலே கண்ட அட்டவணையில் ஒலிகளின் உரப்பு டெசிபெல்களில் கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது செவி உணர்வுத் தொடக்கத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டது. செவி உணர்வுத் தொடக்கம் எல்லா அதிர்வெண்களுக்கும் சமம் என்று கொண்டுள்ளோம். ஆனால் செவி உணர்திறனும் அதன் அதிர்வு எண் எல்லையும், ஒலி வலிமையைப் பொருத்து மாறுகின்றன. ஒரே ஒலி வலிமையுடைய ஆனால் வெவ்வேறு அதிர்வெண்ணுடைய ஒலி அலைகள் உரப்பில் மாறுகின்றன. எனவே உரப்பை அளவிட மற்றொரு அலகு பயன்படுகிறது. அதன் பெயர் ஃபோன் (Phone) ஆகும்.

ஃபோன்களில் அளக்கப்பட்ட ஒரு ஒலியின் உரப்பு, வினாடிக்கு 1000 அதிர்வு உடைய ஒரு தனிச் சுரத்தின் டெசி பெல்களில் அளக்கப்பட்ட உரப்புக்குச் சமமாகும்.

ஆகவே வினாடிக்கு 1000 அதிர்வுகளில் ஃபோன் அளவீடும், டெசிபெல் அளவீடும் ஒத்திருக்கின்றன. எடுத்துக்காட்டாக 512 அதிர்வு உடைய ஒரு சுரத்தின் உரப்பைக் காண்போம். 1000 அதிர்வு உடைய ஒரு படித்தர சுரத்தை ஒலிக்க வைத்து அதன் உரப்பைக் கொடுக்கப்பட்ட சுரத்தின் உரப்புக்குச் சமமாக சரி

செய்யலாம். இப்போது படித்தர சுரத்தின் வலிமை மட்டம் (டெசி பெல்களில்) கொடுக்கப்பட்ட சுரத்தின் உரப்பை ஃபோன்களில் காணலாம்.

9·5. ஒலியின் வலிமை

ஒலி செல்லும் திசைக்கு செங்குத்தாக ஒரு அலகு பரப்பு வழியே கடந்து செல்லும் ஆற்றலின் வீதத்திற்கு (Rate) ஒலியின் வலிமை எனப் பெயர். இது ஒரு முதன்மையான ஒலியின் அளவீடு ஆகும். எடுத்துக்காட்டாக ஒலிப்பானிலிருந்து (Loud speaker) வெளிவரும் ஒலியின் வலிமையைக்காண இது பயன்படும். ஒலியின் வலிமைக்கு

$$I = 2\pi^2 n^2 a^2 v P \qquad \ldots\ldots(3)$$

என்ற சமன்பாட்டை முன்பே கண்டிருக்கிறோம். இதன்படி ஒலியின் வலிமை, அதன் வீச்சு, அதிர்வு எண் ஆகியவற்றை இரு மடிக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது. இப்போது ஒலியின் வலிமை அதிக அழுத்தத்தோடு எப்படி மாறுபடுகிறது என்பதைக் காணலாம்.

$$v = \sqrt{E/P}$$ [E என்பது மீட்சி (Elasticity) ஆகும்.]

$$E = \frac{P}{\left(\frac{dv}{dr}\right)}$$ [P—அடர்த்தி]

dv என்பது கன அளவிலுள்ள மாறுபாடு, எனவே

$$v = \sqrt{\frac{-P}{\left(\frac{dv}{v}\right)^{\rho}}}$$

$$v^2 = \frac{-P}{\left(\frac{dv}{v}\right)^{\rho}}$$

$$P = -v^2\rho \left(\frac{dv}{v}\right) \qquad \ldots\ldots(4)$$

நெட்டலைகளுக்கு $\left(\frac{dv}{v}\right)$ என்பது $\left(\frac{dy}{dx}\right)$ என ஆகும்.

$\frac{dy}{dx}$ இடமாற்ற வரைபடத்தின் (Displacement curve) சரிவைக் குறிக்கும்.

$$\therefore P = -v^2\rho \frac{dy}{dx}$$

சீரியல்பான அலைவுக்கு

$$y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt-x)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-2\pi a}{\lambda} \cos \frac{2\pi}{\lambda} (vt-x)$$

ஆகவே $$P = \frac{2\pi\, a v^2 \rho}{\lambda} \cos \frac{2\pi}{\lambda} (vt-x) \qquad \text{.....}(5)$$

$$= P_m \,.\, \cos \frac{2\pi}{\lambda} (vt-x) \qquad \text{......}(6)$$

P_m என்பது அழுத்தத்தின் பெருமதிப்பு

$$P_m = \frac{2\pi a\, v^2 \rho}{\lambda} = 2\pi n\, a v \rho \qquad \text{......}(7)$$

சமன்பாடு (6) அழுத்த வேறுபாட்டு அலையாகக் கொண்டு அதன் மாறுபாட்டைக் காண்பிப்பதாகக் கொள்வோம்.

P_m என்பது அழுத்த வீச்சு எனப்படும். இந்த அழுத்த அலை (Pressure wave) கால் அலைவுநேரம், இடமாற்ற அலைவுக்கு கட்ட மாறுபாட்டுடன் (Phase difference) இருக்கும். சமன்பாடு (3), (7)-லிருந்து

$$I = \frac{P_m^{\,2}}{2 v \rho}$$

இந்த அதிக அழுத்தத்தின் சராசரி இருமடியின் இருமடி மூலம் (Root mean Square) P_v எனக் குறிக்கப்படுகிறது. எனவே

$$P_v = \frac{P_{max}{}^2}{\sqrt{2}}$$

இது மாறும் மின்னோட்டத்தை (Alternating Current) ஒத்திருக்கிறது.

$$I = \frac{P_v^{\,2}}{\rho v}$$

இதிலிருந்து ஒலியின் வலிமை அழுத்த மிகுதியின் R. M. S. மதிப்பின் இருமடியுடன் வேறுபடுகிறது. எனத் தெரிகிறது. இந்த சமன்பாட்டில் அதிர்வு எண்ணைப்பற்றி ஏதும் இல்லாததால், வெவ்வேறு அதிர்வெண்ணுடைய ஒலிகளின் வலிமைகளை அவற்றின் தொடர்புடைய அழுத்த மிகுதியை அளந்து ஒப்பிடலாம்.

ஒலியியல் அளவீடுகளில் வீச்சை அளப்பதற்கு பதில் இந்த அழுத்த அளவீடுதான் மிகுதியாகப் பயன்படுகிறது. செவியில்

புகும் ஒலி அதில் உணர்வை உண்டாக்க ஓரளவு வலிமையும், அதிர்வு எண்ணும் கொண்டிருக்க வேண்டும் என்று பரிசோதனை களால் தெரிய வருகிறது. P_m-ன் மதிப்பு 3×10^{-4} டைன்/செ.மீ^{2} இருந்து 280 டைன்/ செ.மீ^{2} வரை செவியின் உணர்வு எல்லையில் இருக்கின்றன. இயல்பான பேச்சிற்கு 20°C-ல் இயல்பான அழுத்தத்தில் (Normal Pressure) $\lambda = 100$ செ.மீ.க்கு ஒலியின் வேகம் விநாடிக்கு 344 மீ. எனக் கொண்டால் (காற்றில்) காற்றின் அடர்த்தி $= \cdot 00129$ கிராம்/க.செ.மீ.

$$a = \frac{P_m \lambda}{2\pi l v^2}$$

$$= \frac{1\times 100}{2\pi\times \cdot 00129\times (344\times 100)^2}$$

$$= 1\cdot 04\times 10^{-5} \text{ செ.மீ.}$$

இது காற்றில் இயல்பான பேச்சின், ஒலி அலையின் வீச்சு மிகச் சிறியது எனக் காட்டுகிறது.

$$I = \frac{P_m^{\,2}}{2\rho v}$$

$$= \frac{I}{2\times \cdot 00129\times 344\times 100}$$

$$= 1\cdot 13\times 10^{-2} \text{ எர்க்/விநாடி/ச.செ.மீ}$$

$$= 1\cdot 13\times 10^{-9} \text{ வாட்/ செ.மீ}^2$$

இதே போல் செவி தாங்கக் கூடிய மிக அதிக ஒலியின் வலிமை.

$$I = \frac{280}{2\times \cdot 00129\times 344\times 100}$$

$$= 94\times 10^{-6} \text{ வாட்/செ. மீ}^2$$

இயல்பான பேச்சின் ஒலிவலிமை மிகச் சிறியது ($1\cdot 13\times^{-9}$/வாட்/ செ.மீ^{2} எனக் காண்போம். ஆனால் மனிதனின் செவி மிகவும் துல்லியமான உணர்வு கொண்டது. இதைவிடக் குறைந்த வலிமை உடைய ஒலிகளைக் கூட அது உணர முடியும். உணர்வின் கீழ் எல்லையிலுள்ள வலிமையைக் கணக்கிட்டால் $I = 10^{-16}$வாட்/ செ. மீ^{2} என வரும். இதுதான் செவியின் பயன் தொடக்கவலிமை (Threshold Intensity) எனக் காண்போம்.

ஒலியின் வலிமையை அளப்பது பற்றி பிறிதொரு இடத்தில் காண்போம்.

9·7. ஒலி அலேயின் திறன் (Power of Sound Waves)

ஒலி அலேயின் மொத்த ஆற்றல் என்பது ஒரு பரப்பின் மீது ஒலி அலே செல்லும்போது ஒலியின் வலிமையையும், பரப்பளவையும் பெருக்கி வரும் தொகைக்குச் சமமானது. ஆகவே ஒலி வலிமையின் அளவீடு இசை, பேச்சு, ஆகியதுறைகளில் மிகமுக்கியத்துவம் வாய்ந்தது. பற்பல ஒலி மூலங்களின் திறனே இதனேக் கொண்டு கணக்கிடலாம். அமெரிக்காவிலுள்ள பெல் சோதனே சாலேயைச் சேர்ந்தவர்கள் பல்வேறு அதிர்வெண்ணுடைய ஒலி அலேகளின் திறன்களே வகைப்படுத்திக் கொடுத்துள்ளார்கள். இயல்பாகப் பேசும்போது ஒலியின் ஆற்றல் 10 மைக்ரோ வாட்டுகள் ஆகும். பெரு மதிப்புடைய ஒலியின் வலிமை ஆயிரம் மைக்ரோ வாட்டுகள் ஆகும். இவை 250—லிருந்து 1000 அதிர் வெண்களுக்கு இடையே அளக்கப்பட்டவை. பெண்களுக்கு 500—லிருந்து—1500 அதிர் வெண்கள் வரை இதே திறன் வெளிப்படும். பறந்து ஒலி எழுப்பும் கொசு 10^{-4} வாட்கள் திறனே வெளிப்படுத்தும். மெதுவாக ஒலிக்கும் வயலின் 3.8×10^{-6} வாட்கள் திறனே வெளிப்படுத்தும். மிகக் குறைந்த திறனே மின் ஒலியியல் (Electro Acoustics) கருவிகளேக் கொண்டு அளக்கலாம்.

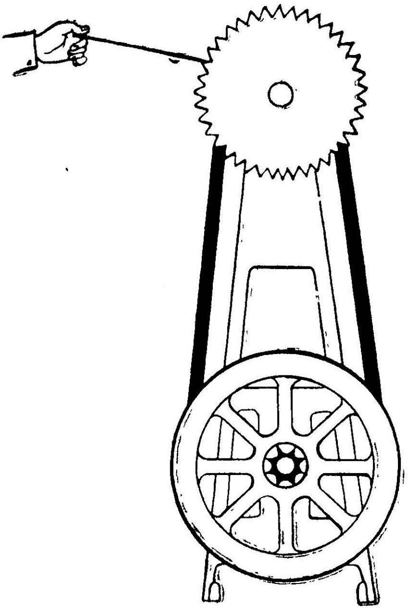
9·8. சுருதி (Pitch)

சுருதி என்பது இசை ஒலியின் ஒரு குணமாகும். இது கீழ்க் குரலிலிருந்து கட்டையான குரலே வேறுபடுத்திக் காட்டுகிறது. இரு ஒலிகளும், ஒரே வலிமையுடைவனவாக இருந்தால்கூட இந்த வேறுபாடு தெரியும். இசை அளவீடுகளில் (Musical scales) உள்ள பற்பல ஒலிகளில் இந்த சுருதி ஒரு குறிப்பிட்ட ஒலியின் நிலேயைக் காட்டும். சுருதியின் உணர்வு ஒலியின் அதிர்வெண்ணேப் பொருத்தது. அதிர்வெண் மிக சுருதிமிகும். குறைந்த அதிர்வெண்ணுடைய ஒலியின் சுருதி குறைந்திருக்கும். சுருதிக்கும் அதிர்வெண்ணுக்கும் வேறுபாடு உண்டு. மிகச் சிறிய மாறுபாடுடைய இரு அதிர்வெண்களுடைய ஒலிகளின் சுருதிகளே நம்முடைய செவி உணர முடியும். சுருதி என்பது நடைமுறையில் உரப்புக்கும், சுரப்பண்புக்கும் மாறுபட்ட ஒன்று.

·9. சாவர்ட் சக்கரம்

சுருதியின் உணர்வு அதிர்வெண்ணேப் பொருத்தது எனக் காண்பிக்க ஒரு சாவர்ட் சக்கரம் பயன்படும். இதில் ஒரு அச்சில் இணேக்கப்பட்ட ஒரு பெரிய பல் சக்கரம் இருக்கிறது. இதை ஒரு கைப்பிடியைக் கொண்டு தேவையான வேகத்தில் சுற்றலாம். இதன் மொத்த சுற்றுகளேக் கணக்கிட கணிப்பான்

(Counter) உள்ளது. சக்கரம் வேகமாக சுற்றப்படுகிறது. அதன் மீது ஒரு அட்டைத்துண்டு பல்சக்கரத்தை ஒட்டி பிடிக்கப் படுகிறது. இப்போது டப், டப் என்ற ஒலி விட்டு விட்டுக் கேட் கும். சக்கரத்தின் வேகம் மிகுதியாக்கப்பட்டால் இவ்வொலிகள் ஒன்று சேர்ந்து ஒரே சுரமாகக் கேட்கும். இன்னும் சக்கரத்தின் வேகத்தை அதிகப்படுத்தினுல் அதே சுரம் கீச்சொலியாகக் கேட்கும். சக்கரத்தின் வேகம் மிகமிக சுருதியும் மிகுந்து கொண்டே செல்லும்.

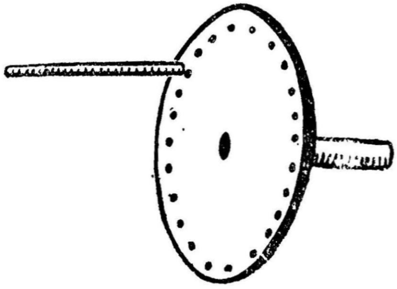


படம் 60

9·10. வட்டுச் சங்கு : (Disc Siren)

இதுகூட ஒலியின் சுருதி, அதன் அதிர்வு எண்ணேடு மிகுகிறது என்பதைக் காட்டும். இதில் ஒரு வட்டமான வட்டு உள்ளது. இதன் ஓரத்தில் மிகச்சிறிய துளைகள் அடுத்தடுத்து சமத்தொலைவு களில் இருக்கும். இது ஒரு சுழலும் அச்சில் பொருத்தப்பட்டிருக் கிறது. அந்த அச்சு ஒரு மோட்டாரினுல் சுழற்றப்படும். ஒரு கண்ணுடி ஜெட்டின் வழியே வேகமாக வெளியேறும் காற்று இந்த வட்டிலுள்ள ஒரு துளையில் படும்படி அமைக்கப்படுகிறது. வட்டி லுள்ள துளைகள் ஜெட்டுக்கு நேராக வரும்போது காற்றின் ஒரு பகுதி (Puff) துளையைக் கடந்து செல்லும். வட்டு சுற்றும்போது

ஒவ்வொரு துளையின் வழியேயும் காற்று புகுந்து செல்லுகிறது. அப்போது விட்டுவிட்டு ஒலி கேட்கும். வட்டு வேகமாக சுற்றப் படுமானல் இந்த ஒலிகள் ஒன்று சேர்ந்து ஒரு சுருதி உடைய ஒரு சுரமாகக் கேட்கும். வட்டின் வேகம் மிகுந்தால் சுருதியும் மிகும். வட்டின் வேகம் சிறிது சிறிதாக அதிகப்படுத்தப்பட்டால் சுருதியும் அதிகமாகிக் கொண்டே செல்வதைக் காணலாம்.



படம் 61

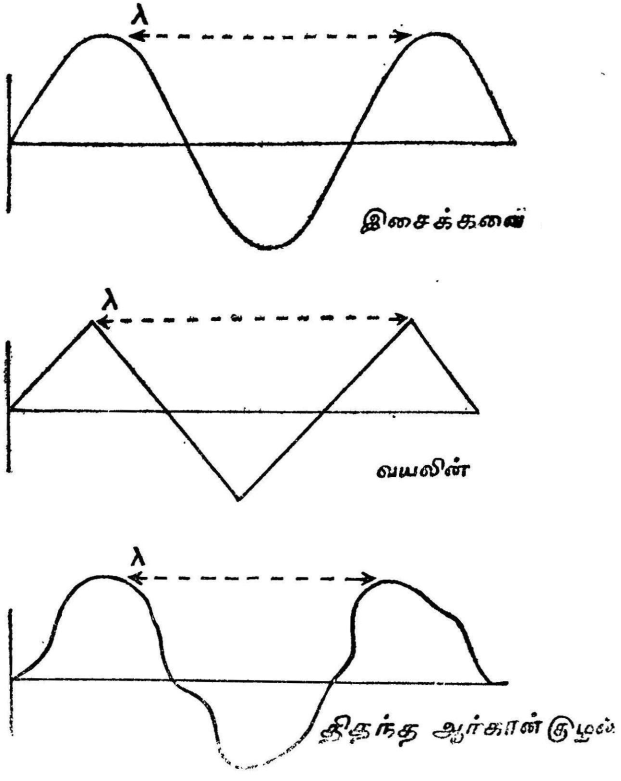
9·11. சுரப்பண்பு : (Timbre)

ஒரே சுருதியும், ஒரே உரப்பும் கொண்ட இருவேறு இசைக் கருவிகளால் எழுப்பப்படும், ஒலிச் சுரங்களைத் தனித்தனியாக நாம் உணர உதவும் பண்புக்கு சுரப்பண்பு எனப் பெயர்.

இசைக் கருவிகள் எழுப்பும் ஒலி அலைகளின் வடிவங்களைக் கொண்டு நாம் பார்த்தால் இசைக்கருவிகள் தனித்த கலப்பற்ற சுரங்களை (Pure Notes) எழுப்புவதில்லை, எனத் தெரியும். இசைக் கவை மட்டுந்தான் ஏறத்தாழ ஒரு தனித்த கலப்பற்ற சுரத்தை எழுப்புகிறது. மற்ற இசைக் கருவிகள் எல்லாம் எழுப்பும் இசைச் சுரங்கள் பலவற்றின் கூட்டு ஆகும் (Complex). அவை ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட அதிர்வெண்கள் உடையன எனக் கண்டுபிடிக்கப் பட்டிருக்கிறது. ஒவ்வொரு இசைக்கருவியும் அதன் அடிப்படை n கொண்ட சுரத்தோடு, $2n$, $3n$, $4n$ அதிர்வெண்கள் கொண்ட சுரங்களையும் ஒரே நேரத்தில் எழுப்புகிறது. இவைகளுக்கு மேல் சுரங்கள் (Over tones) எனப் பெயர். இந்தக் கலவையின் தொகுப்புத்தான் சுரப்பண்பைத் தீர்மானிக்கிறது.

ஒவ்வொரு இசைக் கருவியும் ஒரே நேரத்தில் வெவ்வேறு மேல் சுரங்களை எழுப்புகின்றன. இது கருவியின் தனித்தன்மை ஆகும். எடுத்துக்காட்டாக அதிரும் ஒரு சோனு மீட்டர் கம்பியை எடுத்துக் கொள்வோம். இது ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர் வெண்

ணோடு அதிரும். கம்பியின் நடுப்பகுதியில் (எதிர்க் கணு) ஒரு இறகைக் கொண்டு தொட்டால் நடுப்பகுதியின் அதிர்வு தடைப் படும். இப்போது கம்பி இருபகுதிகளாக அதிர்வடைந்து ஒரு புதிய சுரம் கேட்கும். இதன் அதிர்வு எண் முந்தியதைப்போல் இருபங்கு இருக்கும். இது முதல் மேல்சுரம் ஆகும். இதுவும் முந்தைய அடிப்படை சுரமும் சேர்ந்தே ஒரே நேரத்தில் கேட்கும். ஏனெனில் இறகால் தொடும்போது முந்தைய அதிர்வு முழுவதும் நின்று ஒரு புதிய அதிர்வு நிலை தோன்ற முடியாது. இதேபோல் கம்பியின் மூன்றில் ஒரு பாகத்தில் அல்லது நான்கில் ஒரு பாகத் தில் தொட்டு மேல் சுரங்களைத் தோற்றுவிக்க முடியும். எனவே



படம் 62

அதிரும் கம்பியில் அடிப்படை சுரமும், அதன் மேல் சுரங்களும் ஒரே நேரத்தில் எழுப்பப்படுகின்றன. இவைகளின் கலவைத் தொகுப்புத்தான் சுரப்பண்பைக் கொடுக்கிறது. கம்பியின் ஓரத்

திற்குப் பதிலாக நடுப்பகுதியில் அதிர்வடையச் செய்யப்பட்டால் மேல் சுரங்கள் மிகுந்து சுரப்பண்பு நன்ருக இருக்கும்.

பியானே, வயலின், கித்தார் போன்ற இசைக் கருவிகளில் அதிர்வடையச் செய்யும் புள்ளிகளை மாற்றி அமைத்து சில தேவையற்ற மேல் சுரங்கள் எழாமல் செய்ய முடியும். ஒரு பியானே கருவியில் எழும் ஒலியின் சுரப்பண்பு அதிலுள்ள சுத்தியலின் கடினத்தன்மை, கம்பியுடன் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும் நேரம் ஆகியவற்றைப் பொருத்தும் சுரப்பண்பு அமையும். வயலின் ஒலியின் சுரப்பண்பு அதன் ஒலிப்பெட்டி, செய்யப்பட்ட மரம், அதன் வடிவம் ஆகியவற்றைப் பொருத்து அமையும்.

ஒரு சுரத்தின் சுரப்பண்பை அதன் பல்கூட்டு அமைப்பு (complex structure) தீர்மானிக்கிறது. இந்தச் சுரப்பண்பு சில மேல் சுரங்கள் இல்லாததையும், இருப்பதையும் பொருத்து அமையும். இருக்கும் மேல் சுரங்களின் ஒப்புவலிமைகளையும் (Relative Intensities) சுருதிகளையும் பொருத்து சுரப்பண்பு அமையும்.

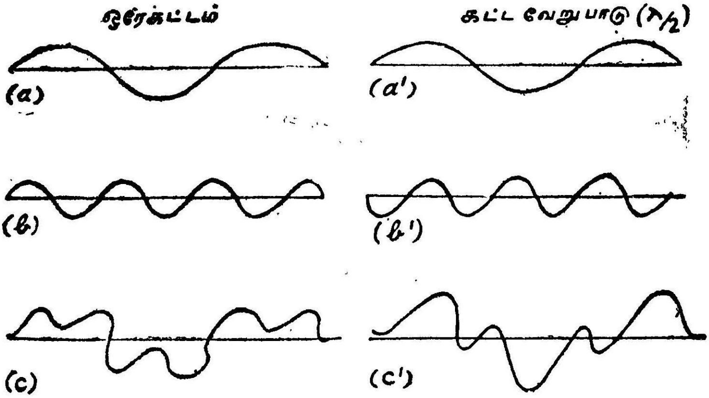
இந்த சுரப்பண்புதான் பல்வேறு ஒலிகளை நாம் நினைவில் வைத்துக்கொள்ள உதவுகிறது. ஒரு நண்பனின் குரல் அல்லது பழக்கப்பட்ட குரல், இசைக் கருவிகளின் ஒலிகள், விலங்குகளின் வாய் ஒலிகள் ஆகியவற்றை நாம் கண்டறிந்து கொள்ளவும் இது தான் உதவுகிறது.

படத்தில் சில இசைக்கருவிகளின் ஒலி அலைகளின் வரைபடம் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இவை ஒரே உரப்பு, அலைநீளம் கொண்டவை. ஆனல் சுரப்பண்பில் மாறுபட்டவை.

9·12. சுரப்பண்பு பற்றி ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸின் கொள்கை (Helmholtz Theory of Quality)

ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸின் கூற்றுப்படி ஒரு பல் கூட்டுச் சுரத்திலுள்ள தனித்தனி சுரங்களின் எண்ணிக்கை, அவற்றின் பகிர்வு அல்லது பங்கீடு (Distribution) தனித்தனிச் சுரங்களின் ஒப்புவலிமைகள் ஆகியவற்றைப் பொருத்து அமையும். தனிச் சுரங்களின் ஒப்புக் கட்டங்கள் (Relative phase) சுரப்பண்பை மாற்றுமா என்பதைக் காண வேண்டும். படத்தில் a, b என்பவை ஒரே கட்டத்திலுள்ள இரு அலைகளைக் காண்பிக்கிறது. அவற்றின் அதிர்வு எண்கள் முறையே n, $3n$ ஆகும். a^1, b^1 என்பவை $\lambda/_2$ கட்ட வேறுபாடுள்ள அதே அலைகளைக் காண்பிக்கின்றன. c, c^1 என்பவை அவற்றின் தொகு அலைகளைக் காண்பிக்கின்றன.

இந்த இரு தொகு அலைகளும் (Resultant Waves) ஒன்றுக்கொன்று மாறுகின்றன. எனவே அவை சுரப்பண்பிலும் மாறுபடுவது போலத் தோன்றுகின்றன. ஆனால் ஹெல்மோல்ட்ஸ் பல சோதனைகளுக்குப் பின்பு, தனித்தனி சுரங்களின் ஒப்புமைக் கட்டங்கள் அவற்றின் கூட்டுச் சுரத்தின் பண்பை பாதிப்பதில்லை எனக் கண்டார்.



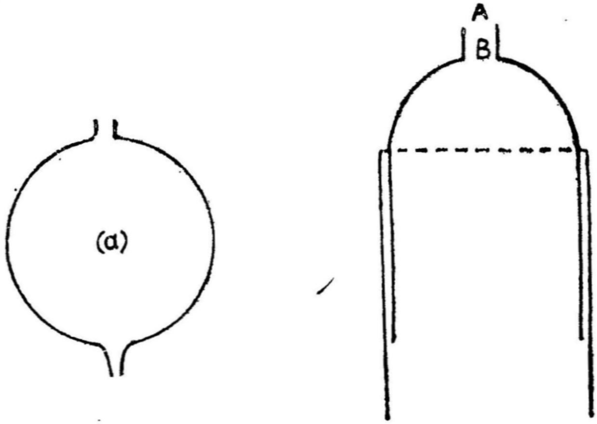
படம் 63

ஒரு இசை ஒலியைப் பற்றிக் கூறும்போது அதன் கூறுகளின் (Components) வீச்சு, அதிர்வு எண்கள் ஆகியவற்றைத்தான் குறிப்பிடுகிறோம். பல் கூட்டு இசை ஒலிகளைப் பற்றி அறிவதற்கு ஹெல்மோல்ட்ஸ் சில ஒத்ததிர்விகளைப் பயன்படுத்தினர்.

9·13. ஒத்ததிர்வி (Resonator)

ஒத்ததிர்வி என்பது இயல்பான அதிர்வெண்ணுடைய ஒரு வாயுத் தம்பம் ஆகும். இதன் அமைப்பில் வேறுபாடுகள் இருக்கலாம். எடுத்துக் காட்டாக இசைக்கவையின் ஒத்ததிர்வுப் பெட்டி, திறந்த அல்லது மூடிய ஆர்கான் குழல் இவையெல்லாம் ஒத்ததிர்விகளே. தகுந்த சுருதியுடன் இசைக்கவையின் ஒலியை அவை ஒலிக்கும். பல் கூட்டு ஒலியைப் பகுத்தாயவும் (Analysis) மற்ற ஒலியியல் அளவீடுகளுக்கும் ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் சில சிறந்த ஒத்ததிர்விகளைத் தோற்றுவித்தார், இவை ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் ஒத்ததிர்விகள் எனப்படும். இவற்றில் இருவகைகள் படத்தில் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. (*a*) ஒத்ததிர்வி கோளவடிவுடையது. (*b*) நீள் உருளைப் பெட்டி போன்றது. அவற்றிற்கு அகண்ட வாய்ப்பகுதிகளும், குறுகிய கழுத்துக்களும் உண்டு. வாய்ப்பகுதி வழியாக அதிரச் செய்யும் அலைகள் நுழைகின்றன. *B* என்ற

குறுகிய கழுத்துப் பகுதி இந்த அதிர்வுகளைச் செவிக்கு இட்டுச் செல்லப் பயன்படுகிறது. காற்றுடைய உட் குழிவு (Air Cavity) ஏறத்தாழ முழுவதும் அடைப்பட்டிருக்கிறது. இதனுல் ஆற்றல் மிகச்சிறிய அளவே வெளியேறும். எனவே தடைக் கூறு (Dampirg



படம் 64

Factor) மிகச் சிறியது. அதனுல் இசைவுக் கூர்மை மிகுந்திருக்கும். இதனுல் இவை குறைந்த வலிமையுடைய குறிப்பிட்ட சுருதி உடைய ஒலி அலைகளைப் பகுப்பாயப் பொருத்தமானவை.

ஒத்ததிர்விக்கு அருகே ஒரு பல்கூட்டு ஒலி எழுப்பப்படுவதாகக் கொள்வோம். அதில் ஒத்ததிர்வியின் இயல் அதிர் வெண்ணுடைய கூறு இருந்தால் உடனே ஒத்ததிர்வி அந்த அதிர்வெண்ணைத் தேர்ந்தெடுத்து மிகுந்த உரப்புடன் அதிரத் தொடங்கும். செவியால் உணர முடியாத அளவு குறைந்த வலிமையுடைய ஒலிகளைக் கொண்ட ஒரு பல்கூட்டு ஒலியின் கூறுகளை வரிசையாக அடுக்கப்பட்ட தனித்தனி ஒத்ததிர்விகளைக் கொண்டு அறியலாம். நீள் உருளை வடிவத்திலுள்ள ஒத்ததிர்வி இருபகுதிகளால் ஆனது. ஒன்றுக்குள் ஒன்று தழுவிச் செல்லும் பகுதிகளைச் சரி செய்து காற்றின் கன அளவை மாற்றலாம். ஒரே ஒத்ததிர்வு பல்வேறு அதிர்வெண்களுக்காக இசைவு (Tuning) செய்யப்படலாம். இத் தகைய ஒத்திர்விகளைப் பயன்படுத்தி ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸ் பல நூறு இசைஒலிகளைப் பகுப்பாய்வு செய்தார்.

9·14. ஒத்ததிர்வியின் கொள்கை: (Theory of Resonator)

ஒத்ததிர்விகளில் எப்படி அதிர்வுகள் தோன்றுகின்றன. அவற்றின் அதிர்வு எண் என்ன என்பதையும் இங்கு காண்போம்.

இராலே என்பவர் ஒத்ததிர்விக்கான கொள்கையைத் தோற்றுவித்தார். அவருடைய கூற்றுப்படி (வாய்ப்பகுதியில் உள்ள காற்று மேலும், கீழும் இயங்கும் ஒரு பிஸ்டன் மேல் செயல்படுகிறது. இது ஒத்ததிர்வியில் உள்ள காற்றை அமுக்கவும், விரிவடையவும் செய்கிறது. ஒத்ததிர்வியின் பரிமாணங்கள் (Dimensions) ஒலி அலையின் (காற்றில்) அலைநீளத்துடன் ஒப்பிடப்படும்போது மிகச் சிறியவையாக இருக்கும். எனவே இறுக்கம் ஒத்ததிர்வி முழுவதும் சீராக இருக்கும்.

ஒத்ததிர்வியின் இயக்கத்தை கீழ்க்கண்டவாறு விவரிக்கலாம். வாய்ப்பகுதி *A* வழியாக காற்றுள்ளே வேகமாக புகுகிறது எனக் கொள்வோம். உள்ளே காற்றின் அமுக்கம் அதிகரிக்கிறது. இந்த அழுத்த அதிகரிப்பு காற்றுப் புகுவதைத் தடுத்து நிறுத்தும். அதே நேரத்தில் காற்றை வெளி நோக்கித் தள்ளும். அப்படித் தள்ளும் போது அதற்கு ஒரு உந்தம் (Momentum) கிடைக்கிறது. இதனுல் காற்று சம நிலையைக் கடந்து செல்லுகிறது. இப்போது காற்றின் அழுத்தம் குறையும். எனவே மீண்டும் காற்று உள்ளே எதிர்த் திசையில் புகும். இப்படியாக ஒரு மாறி மாறி அலையும் அலைவுகள். தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. இதை, செங்குத்தாக ஆடும் ஒரு சுருள்வில்லுக்கு (Spiral Spring) ஒப்பிடலாம். அடியில் ஒரு பொருள் இணைக்கப்பட்ட சுருள்வில் மேலும், கீழும் சீராகக் குறிப்பிட்ட அலைவு நேரத்துடன் இயங்கும். இணைக்கப்பட்ட பொருள் வாய்ப்பகுதியிலுள்ள காற்றுப்பிஸ்டனுக்கு ஒப்பாகும். சுருள் வில் ஒத்ததிர்வியில் உள்ள காற்றுக்கு ஒப்பாகும்.

l = என்பது வாய்ப்பகுதியின் நீளத்தையும்,

α = என்பது அதன் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பையும்

குறிக்கட்டும். இப்போது காற்றுப் பிஸ்டனின் நிறை $\rho\, l\, \alpha$ ஆகும். p என்பது காற்றின் செறிவு. இப்போது ஒத்ததிர்வியிலுள்ள காற்று அதிர்வு அடைந்தால் அலைவுகள் வெப்பம் மாறு நிலையில் (Adiabatic Condition) தோன்றுகின்றன. வெப்பம் மாறுநிலையில்

$$Pv^{r} = \text{ஒரு மாறிலி.}$$

p என்பது அமுக்கத்தையும், v என்பது காற்றின் கன அளவையும் குறிக்கின்றன. γ இரு வெப்ப எண்களின் விகிதத்தையும் குறிக்கும்.

வகையீடு செய்தால் (Differentiating)

$$v.\ Pv^{r-1}.\ dv + v^{r}.\ dp = 0 \quad \text{அல்லது}$$

$$dp \qquad = -rp\,\frac{dv}{v}$$

கழுத்துப் பகுதியிலுள்ள காற்றின் ஒரு பகுதி y தொலைவு நகருவதாகக் கொள்வோம். இப்போது காற்றின் கன அளவில் தோன்றும் மாறுபாடு.

$$dv = \alpha . y$$

எனவே மீட்சி விசை (Restoring force)

$$F = \alpha\, dp$$

$$= -\gamma p \frac{dv}{V} . \alpha$$

$$= -\gamma . \frac{p\alpha^2 y}{V} \quad [\therefore dv = \alpha y]$$

நியூட்டனின் இரண்டாவது விதிப்படி

F = நிறை × முடுக்கம்.

$$= M . \frac{d^2 y}{dt^2}$$ [M என்பது காற்றின் நிறை]

$$\therefore M . \frac{d^2 y}{dt^2} = -\left(\frac{\gamma p \alpha^2}{V}\right) y$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -\left(\frac{\gamma p \alpha^2}{MV}\right) y$$ [முடுக்கம் இடப்பெயர்ச்சி y-க்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது.]

ஆகவே அலைவு சீரியல்பானது (Simple Harmonic)

அலைவுநேரம் $T = 2\pi \sqrt{\frac{MV}{\gamma p \alpha^2}}$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{\rho \gamma \alpha V}{\gamma p \alpha^2}} \quad \left[\therefore M = \rho l \alpha\right]$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{lV}{\left(\frac{\gamma p}{\rho}\right)} \cdot \frac{1}{\alpha}}$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{lV}{v^2} . \frac{1}{\alpha}} \quad \left[\because \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} = v\right]$$

$$= \frac{2\pi}{v} \sqrt{\frac{lV}{\alpha}}$$

v என்பது காற்றில் ஒலியின் வேகம்.

ஆகவே $T = \frac{2\pi}{v} \sqrt{\frac{lV}{\alpha}}$

அதிர்வு எண் $n = \frac{1}{T} = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{\alpha / l}{V}}$

அதிர்வு எண், கழுத்துப் பகுதியின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பின் இருமடி மூலத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது. அதன் நீளத்தின் இருமடி மூலத்திற்கு எதிர் விகிதத்திலிருக்கிறது. $\left(\frac{a}{l}\right)$ என்பது செ.மீ வரும். இதற்குக் கழுத்தின் கடத்துத் திறன் (Conductivity of the neck) எனப் பெயர்.

குறிப்பிட்ட ஒத்ததிர்விக்கு, மேலேயுள்ள சமன்பாட்டிலிருந்து $n^2V =$ ஒரு மாறிலி எனத் தெரிகிறது. இறுக்கி மூடப்பட்ட கண்ணாடிக் குப்பியின் தக்கை மூடியை (Cork) வேகமாகத் திறந்தால் ஒரு சுரம் (note) கேட்கும். இது குப்பிக்குள் உள்ள காற்று வெப்பம் மாறும் நிலையில் அலைவதால் தோன்றுவது ஆகும். (Adiabatic Oscillation) குப்பியின் கழுத்திலுள்ள காற்று பிஸ்டன் போல் செயல்படுகிறது.

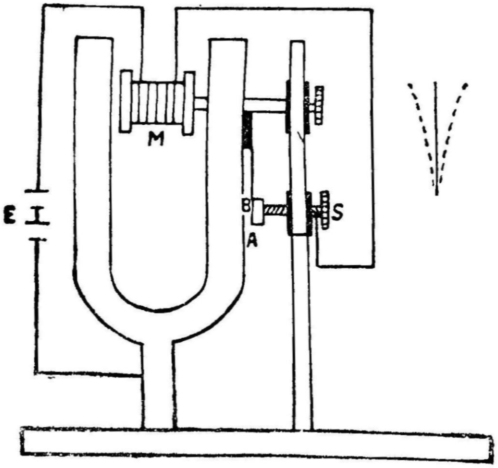
9·15. ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸின் பல்கூட்டு ஒலியின் பகுப்பாய்வு (Analysis of Complex Vibrations)

ஒரு சுரத்தின் சுரப்பண்பு அதன் ஒலி அலை வடிவத்தைப் பொருத்தது எனக் கண்டோம். பல்கூட்டு ஒலியின் கூறுகளின் கட்ட வேறுபாடு இந்தப் பண்பை மாற்றுவதில்லை. இவை ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸால் சரிபார்க்கப்பட்டன. பல்வேறு இசை ஒலிகள் ஒத்ததிர்விகளைக்கொண்டு பகுப்பாயப்பட்டன. இசை ஒலிகளின் கூறுகள், அவற்றின் குணங்கள், அவற்றின் ஒப்பு வலிமை ஆகியவை பகுப்பாயப்பட்டன. ஒத்ததிர்விக்குள் உள்ள காற்றிற்கு ஒரு இயல்பான அதிர்வு எண் உண்டு: அதன் வாய்ப்பகுதி அருகே ஒரு பல்கூட்டு ஒலி எழுப்பப்பட்டால் அந்த பல் கூட்டு ஒலியில் ஒத்ததிர்வியின் இயல்பு அதிர்வு எண் இருந்தால் உடனே ஒத்ததிர் வியிலுள்ள காற்று அதிர்வடையத் தொடங்கும். ஒத்ததிர்வியின் மற்றொரு குறுகிய பகுதி B செவிக்கோ அல்லது 'கோனி'க் (Koenig) கின் ஒரு அழுத்த வேறுபாட்டுச் சுடருக்கு (Manometric flame) இணைக்கப்படுகிறது. இதன் முன்னால் ஒரு சுழலும் கண்ணாடிப் பெட்டி வைக்கப்படும். ஒத்ததிர்வியிலுள்ள காற்று அதிர்வு அடையும்போது சுடர்மேலும், கீழுமாக அதன் நீளம் குறைவதும், நீளுவதுமாக எரியும். சுழலும் கண்ணாடிப் பெட்டியில் ரம்பம் போன்ற ஓரமுடைய பிம்பம் தெரியும். இதிலிருந்து பல்கூட்டு ஒலியில் ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணுடைய சுரம் இருக்கிறதா எனக் கண்டறியலாம். இதேபோல் பல்வேறு சுரங்களையும் காண லாம்.

இதைத் தவிர ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் மின்னோட்டத்தால் காக்கப்பட்ட இசைக் கவையைப் பயன்படுத்தியும் பல் கூட்டு ஒலியின் கூறுகளைப்பகுப்பாய்ந்தார்.

9·16. மின்னோட்டத்தால் காக்கப்படும் இசைக்கவை (Electrically Maintained Tuning fork)

காற்றில் தனித்து அதிரும் ஒரு இசைக் கவையின் வீச்சு மெல்ல மெல்லக் குறைந்து இறுதியில் அதிர்வு இழந்த நிலைக்கு வந்துவிடும். ஏனெனில் துவக்கத்தில் இசைக் கவைக்குக் கொடுக்கப்பட்ட ஆற்றலின் ஒரு பகுதி காற்றின் உராய்வை எதிர்ப்பதற்கு செலவழிகிறது. மற்றொரு பகுதி ஒலியாகி வெளியேறிவிடுகிறது. தொடர்ச்சியாக தேவையான இடைவெளிகளில் இசைக் கவைக்கு ஆற்றல் அளிக்கப்பட்டால் அதன் அதிர்வு தொடர்ந்து காக்கப் படும். இத்தகைய காக்கப்பட்ட இசைக்கவைகளில் மின்னோட்டத் தால் காக்கப்படும் இசைக்கவையும் ஒன்று. இதன் அமைப்பு படத்தில் (படம் 65) காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 65

மரத்தாலான ஒரு அடிப்பலகையில் இசைக்கவை பொருத்தப் பட்டிருக்கிறது. அதன் ஒரு காலில் *A* என்ற சிறிய உலோகத்தகடு பொருத்தப்பட்டிருக்கும். *A*யில் ஒரு இடத்தில் பிளாட்டினை முனை ஒன்று உண்டு. *B* என்பது மற்றொரு பிளாட்டின் முனை, இது *A*யில் உள்ள பிளாட்டின முனையை *S* என்ற திருகைச் சரிப்படுத்தித் தொடுமாறு செய்யலாம். *M* என்பது ஒரு மின்காந்தம். இது இசைக் கவையின் இரு கால்களுக்கிடையே படத்தில் காட்டி

யுள்ளது போல் வைக்கப்பட்டுள்ளது. மின்காந்தத்திலுள்ள கம்பிச்சுருளின் ஒரு முனை S என்ற திருகிற்கும், மற்றொரு முனை E என்ற பாட்டரி வழியே இசைக் கவைக்கும் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது.

இசைக்கவையின் செயல்

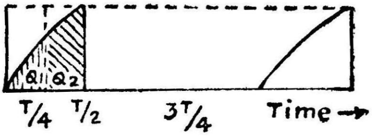
இசைக்கவை ஒரு சிறிய ரப்பர் சுத்தியால் தொடக்கத்தில் அதிர்வு அடைய வைக்கப்படுகிறது.

A, B யைத் தொடும்போது மின் சுற்று மூடப்படும். மின் காந்தம் வழியே மின்னோட்டம் ஏற்படும். மின்காந்தம் இசைக் கவையின் ஒரு காலைத் தன்பக்கமாக உள் நோக்கி இழுக்கும். இதனால் மின்சுற்றுத் தொடர்பு துண்டிக்கப்படும். உடனே மின்னோட்டம் நிறுத்தப்பட்டு மின்காந்தம் செயலிழக்கிறது. இழுக்கப்பட்ட இசைக்கவையின் கால் தன் நிலை நோக்கி எதிர்ப் புறம் நகரும். அப்போது மீண்டும் *B*-ல் தொடும்போது மின்னோட்டச் சுற்று மூடப்பெற்று முன்போல் மின் காந்தம் மீண்டும் இசைக் கவையின் காலைக் கவர்ந்திழுக்கும். இதேபோல் மாறி மாறி மின்னோட்ட சுற்று மூடப்பட்டும், துண்டிக்கப்பட்டும் நிகழ்வதால் இசைக் கவையின் கால்கள் மின்காந்தத்தால் இங்கும் அங்குமாக நகர்த்தப்பட்டு அதிர்வு அடைகின்றன.

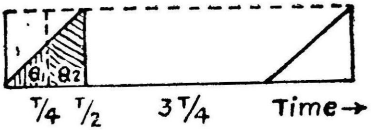
மின் காந்தத்திலுள்ள கம்பிச் சுருளின் தன் மின் தூண்டல் (Self-induction) அலைவுகளைக் காப்பதற்கு பேருதவி புரிகிறது. இசைக் கவையின் ஒரு காலை (Prong) எடுத்துக்கொள்வோம். படம் 65(*a*) இது *a*-லிருந்து *b*-க்கும் *b*-லிருந்து *a*-க்கும் நகரும் போது சுற்று மூடி இருக்கும். அடுத்த அரை நேரத்தில் மின் சுற்று துண்டிக்கப்பட்டிருக்கும். கால் *a*-யிலிருந்து *b*-க்கு வெளிநோக்கிச் செல்லும்போது அது மின் காந்த விசைக்கு எதிராகச் செல்லுகிறது. எனவே காந்த விசையை எதிர்த்து அது வேலை செய்ய நேரிடும். இதனால் அதற்கு ஒரு ஆற்றல் இழப்பு (Loss of Energy) ஏற்படுகிறது. ஆனால் மின்காந்தம் இசைக்கவைக்குக் கொடுக்கும் ஆற்றல் இந்த ஆற்றலுக்குச் சரி சமமாக இருக்கும். எனவே அதிர்வு நிலையைத் தொடர்ந்து காக்க இசைக்கவைக்கு ஆற்றல் மீதமிருக்காது. ஆனால் உண்மையில் நடப்பது வேறுவிதமாக உள்ளது. மின் சுற்று மூடப்படும்போது சுருளின் தன்மின் தூண்டலின் விளைவால் அதில் மின்னோட்டம் உடனடியாக அதன் முழுமதிப்பிற்குச் செல்வதில்லை. தன்மின் தூண்டல் மின்னோட்ட வளர்ச்சிக்கு எதிரான ஒரு மின்னியக்கு விசையைத் தோற்றுவிக்கும். எனவே மின்னோட்ட வளர்ச்சி தடைப்பட்டதாக இருக்கும்.

இரண்டாவது கால் அலைவில் (Second Quarter Cycle) மின் காந்தம் இசைக் கவையின் இயக்கத்திற்கு உதவும்போது கொடுக்கப்படும் ஆற்றல், முதல் கால் அலைவில் (First Quarter Cycle) மின்காந்தத்தை எதிர்த்து இசைக் கவை இயங்கும்போது உள்ள ஆற்றலைவிட மிகுந்திருக்கும். எனவே மின்காந்தம் இசைக் கவைக்குக் கொடுக்கும் ஆற்றல் (*b*-லிருந்து *a*-க்கு நகரும்போது) இசைக் கவையிலிருந்து மின்காந்தம் திரும்பப் பெறும் ஆற்றலைவிட (*a*-யிலிருந்து *b*-க்கு நகரும்போது) மிகுந்திருக்கும். எனவே இந்த மிகுதியான ஆற்றல் அதிர்வைத் தொடர்ந்து காக்க, இசைக் கவையால் பயன்படுத்தப்படுகிறது. முதல் கால் அலைவில் (Quarter vibration) *a*-லிருந்து *b*-க்குச் செல்லும்போது சுற்றில் மின்னோட்ட

(a)



(b)



(c)

படம் 65 *(a)*

அளவு Q_1-ஆகவும், இரண்டாவது கால் அலைவின்போது மின்னோட்ட அளவு Q_2 ஆகவும் இருந்தால் (*b*-லிருந்து *a*-க்கு)

(Q_2-Q_1) மின்னோட்ட அளவு அதிர்வுகளைக் காக்கப் பயன் படுத்தப்படுகிறது. (Q_1+Q_2) பேட்டரி கொடுக்கும் மொத்த மின்னோட்ட அளவு,

$\dfrac{Q_2-Q_1}{Q_2+Q_1}$ என்பது இசைக்கவையின் இயக்குத் திறன் எனப் படும். Q_1, Q_2 ஆகியவை தன்மின் தூண்டல் L, மின்தடை R ஆகியவற்றை பொருத்தவை. அவற்றை கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிடலாம். a-யிலிருந்து b-க்கு செல்லும்போது Q_1 மின்னோட்ட அளவு $\left(\text{நேரம் } O \rightarrow \dfrac{T}{4}\right)$ மின்காந்தச் சுற்றில் புகுவதாகக் கொண்டோம். b-லிருந்து aக்கு இசைக்கவையின் கால் திரும்பும்போது Q_2 மின்னோட்ட அளவு (Time $T_4 \rightarrow T_2$) புகுவதாகக் கொள்வோம். இதில் (Q_2-Q_1) மின்னோட்ட அளவுதான் அதிர்வைக் காக்கப் பயன்படுகிறது.

மின்சுற்று மூடப்பட்ட கணத்திலிருந்து நேரம் t வினாடியில், மின்னோட்டம்

$$i_1 = \frac{E}{R}\left[1-e^{-\frac{Rt}{L}}\right]$$

R—சுற்றின் தடை
L—தன்மின்தூண்டல் (Self Inductance)

$$Q_1 = \int_0^{\frac{T}{4}} i_1\, dt:$$

$$= \int_0^{\frac{T}{4}} \frac{E}{R}\left(1-e^{-\frac{Rt}{L}}\right) dt$$

$$= \frac{E}{R}\left[t + \frac{L}{R}(e^{-\frac{Rt}{L}}\right]_0^{\frac{T}{4}}$$

$$= \frac{E}{R}\left[\frac{T}{4} + \frac{L_2}{R}e^{-\frac{RT}{4L}} - \frac{L}{R}\right]$$

இதே போல்

$$Q_2 = \int_{T/4}^{T/2} idt$$

$$= \int_{T/4}^{T/2} \frac{E}{R}\left[1-e^{-\frac{Rt}{L}}\right] dt$$

$$= \frac{E}{R}\left[t+\frac{L}{R}\, e^{-\frac{Rt}{L}} \right]_{T/4}^{T/2}$$

$$= \frac{E}{R}\left[\frac{T}{4}+\frac{L}{R}\, e^{-\frac{RT}{2L}}-\frac{L}{R}\, e^{-\frac{RT}{4L}} \right]$$

$$\therefore\ Q_2-Q_1 = \frac{E}{R}\left[\frac{L}{R}\, e^{-\frac{RT}{2L}} \cdot \frac{2L}{R} e^{-\frac{RT}{4L}}+\frac{L}{R} \right]$$

$$Q_2+Q_1 = \frac{E}{R}\left[\frac{T}{2}+\frac{L}{R} e^{-\frac{RT}{2L}}-\frac{L}{R} \right]$$

∴ இயக்கு திறன் (Efficiency)

$$\eta = \frac{Q_2-Q_1}{Q_2+Q_1}$$

$$= \frac{\frac{E}{R}\left[\frac{L}{R} e^{-\frac{RT}{2L}}-\frac{2L}{R}\, e^{-\frac{RT}{4L}}+\frac{L}{R} \right]}{\frac{E}{R}\left[\frac{T}{2}+\frac{L}{R}\, e^{-\frac{RT}{2L}}-\frac{L}{R} \right]}$$

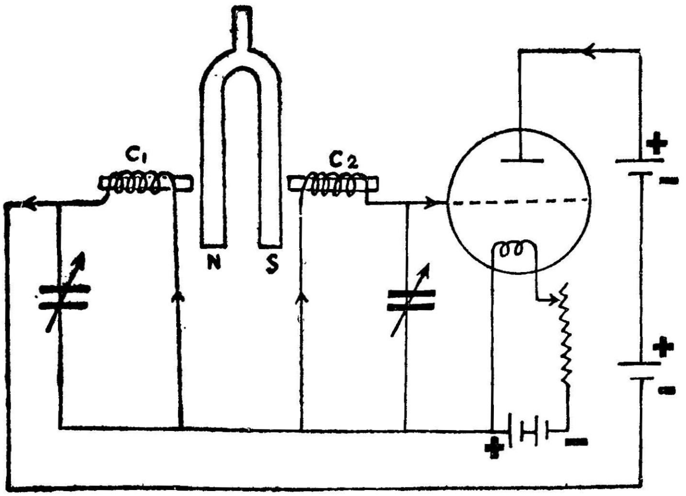
$$= \frac{\frac{L}{R}\left[e^{-\frac{RT}{2L}}-2e^{-\frac{RT}{4L}}+1 \right]}{\frac{T}{2}-\frac{L}{R}\left[1-e^{-\frac{RT}{2L}} \right]}$$

இதில் $L = O$ ஆனால், இயக்குதிறன் $\eta = O$ என ஆகும். அதிர்வுகள் காக்கப்படா. தடை விசையை (Damping force) சரியீடு செய்ய (Compensate) ஆற்றல் கொடுக்கப்படுவதில்லை. ஆகவே அதிர்வுகள் மடிந்துவிடும்.

L-ன் மதிப்புக் குறைவாக இருந்தால் Q_1, Q_2 ஆகியவை ஏறத்தாழ சமமாக இருக்கும். எனவே' அதிர்வுகளைக் காக்க குறைந்த அளவு ஆற்றலே கிடைக்கும். L-ன் மதிப்பு அதிகமாக இருந்தால் அதிர்வுகளைக் காக்க மிகுந்த தன் மின் தூண்டல், தொடும் புள்ளிகளில் மின்பொறியைத் தோற்றுவிக்கும். இதைக் குறைக்க ஒரு மின்தேக்கிப் பொறி இடை வெளிக்கு (Spark-gap) இணையாக இணைக்கப்படுகிறது. மின்னோட்டம் குறைவாக இருக்கும்போது இசைக்கவையின் அதிர்வு எண் அதன் இயல்பான அதிர்வெண்ணை இருக்கும். இது ஒரு ஒத்ததிர்வு ஆகும், இங்கு மின்காந்தத்தின் அதிர்வு மாற்றம் இசைக் கவையின் அதிர்வுக்குச் சமமாகிறது.

9·17. வால்வுகளினுல் காக்கப்படும் இசைக்கவை

இன்றைய நாளில் இசைக்கவைகளின் அதிர்வுகள் ஒரு டிரையோடு (Tride) வால்வ்வால் காக்கப்படுகிறது. வால்வு காக்கும் அதிர்வுகள் உடைய இசைக்கவைப் படம் கீழே உள்ளது.



படம் 66

C_1 C_2 என்பவை இரண்டு மின்காந்தங்கள். அவற்றின் மீது கம்பிச் சுருள்கள் எதிர்த்திசையில் சுற்றப்பட்டிருக்கும். இவை இரண்டும் இசைக்கவையின் கால்களுக்கு வெளிப்புறத்தில் படத்தில் காட்டியுள்ளது போல் வைக்கப் பட்டிருக்கின்றன. இசைக்கவையின் கால்கள் *N*, *S* காந்தமாக்கப்பட்டவை. ஒரு மின்காந்தச் சுருள், டிரையோடு வால்வின் கிரிட் (grid) சுற்றுக்கு இணைக்கப் படுகிறது. மற்ரொன்று வால்வின் தகட்டுச் சுற்றுக்கு (Plate Circuit) இணைக்கப்படுகிறது. இரு மின்காந்தச் சுருளுக்கும் இணையாக மாறியல் மின்தேக்கிகள் இணைக்கப்படுகின்றன. இவற்றைக் கொண்டு மின்சுற்றுகளை வேண்டிய அளவு இசைவிக்கலாம் (Tuned).

இசைக் கவையின் அதிர்வுகள் மின்காந்த சுருள்களில் ஒரு மாறு மின்னழுத்தத்தைத் தோற்றுவிக்கும், ஏதாவதொரு கணத்தில் (Instant) இசைக்கவையின் கால்கள் *N*-ம், *S*-ம் வெளிப்பக்கமாக நகர்வதாகக் கொள்வோம். *S*-க்கும் C_2 சுருளுக்கும் இடையேயுள்ள தொலைவு குறைய C_2 சுருளோடு தொடர்புடைய காந்தப் புலம் மாறும். இதனுல் C_2 சுருளில் ஒரு மின்னேட்டம் தூண்டப் படுகிறது. இந்த மின்னேட்டம் வால்வின் கிரிட்டை மேலும் நேர்க்குறி உடையதாக (More positive) ஆக்கும்படி C_2 சுருள்

சுற்றப்பட்டிருக்கிறது. இதனால் இப்போது தகட்டுச் சுற்றில் மின்னோட்டம் மிகும். இந்த மின்னோட்டம் C_1 சுருள் வழியே பாய அது இசைக்கவையின் கால் N-ஐ தன்னை நோக்கி கவர்ந்திழுக்கும். C_1 சுருள் இதற்குத் தக்கவாறு சுற்றப் பட்டிருக்கிறது. இசைக் கவையின் கால் N, C_1-ஐ நோக்கி நகர அது கவர்ந்திழுக்கப்பட்டால் அது இசைக்கவையின் அதிர்வுக்கு உதவுவது ஆகும். இத்தகைய செயல்கள் மீண்டும் மீண்டும் செயல்பட்டு இசைக்கவையின் அதிர்வுகள் காக்கப்படுகின்றன. வால்வின் தகட்டுச் சுற்றிலுள்ள மின்னாற்றல் இசைக்கவையின் அதிர்வைக் காக்க பயன் படுத்தப் படுகிறது.

மின்னோட்டத்தால் காக்கப்படும் இசைக்கவைகள் வினாடிக்கு 100 அதிர்வுகள் வரை கொடுக்கும். ஆனால் வால்வ்வால் காச்கப் பட்ட இசைக்கவை வினாடிக்கு 1000 அதிர்வுகள் வரை கொடுக்க முடியும்.

வெப்பநிலை மாறாதவரை எந்தநிலையிலும் வால்வ்வால் காக்கப் பட்ட இசைக்கவையின் அதிர்வு எண் சீராக, மாறாமல் இருக்கும். இதை டி. டபிள்யூ. டை என்பவர் (D. W. Dye) பல்வேறு பரி சோதனைகளுக்குப் பின் கண்டுபிடித்தார். இத்தகைய துல்லியமான அதிர்வெண்களைக் கொடுக்கக் கூடிய இசைக்கவைகளின் அதிர்வுகள் டிரையோடு வால்வ்வால் காக்கப் படுகின்றன, வால்வுகளினால் காக்கப்படும் இசைக்கவைகள் படித்தர அதிர்வுகளுக்கும் (Standard frequency) அதிர்வுகளின் பகுப்பாய்விற்கும் (Analysis of vibrations) பயன் படுத்தப்படுகின்றன.

9·18. எதிர் மின் கதிர் அலை வரைவி. (Cathode ray Oscillograph)

பல்கூட்டு ஒலிகளைப் பகுப்பாயவும், இலிஸாஜுஸ் படங்களைப் பெறவும், எதிர்மின் கதிர் அலை வரைவி பயன்படுகிறது எனக் கண்டோம். மிக விரைவாக மாறக் கூடியவற்றை எளிதாகக் கண்டறிய பயன்படும் இன்றைய சாதனங்களில் இது முதன்மை யானது. திசைமாறும் மின்னோட்டம், பல்கூட்டு ஒலி, உயர் அதிர்வெண்ணுடைய அலைவடிவங்கள் ஆகியவற்றை இதன் துணை கொண்டு கண்டறியலாம்.

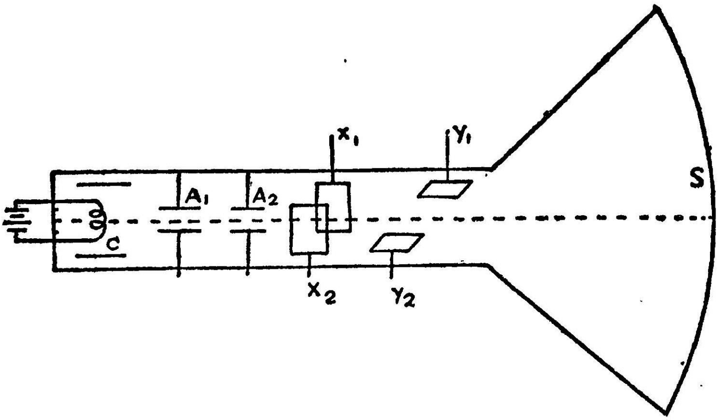
இதன்தத்துவம் (Principle)

ஒரு எதிர் மின்னணு கற்றை (Electron beam) நிலைமின் புலத் தாலும், மின் காந்தப் புலத்தாலும் கட்டுப் படுத்தப் படுகிறது. இந்தப் புலங்களில் தோன்றும் மாற்றங்கள் நேரிடையாக கண்டறியப் படுகின்றன. எதிர் மின்னணுக் கற்றை குறைந்த

சடத்துவத் தன்மை பெற்றிருப்பதால் மிக விரைவாக மாறும் புலங்களை உணர்கிறது. வெற்றிடக் குழலின் முனையிலுள்ள ஒளிரும் திரையில் இந்த எதிர் மின்னணுக்கற்றை விழும்படி செய்தால் அதன் இயக்கம் கண்ணுக்குத் தெரியும்.

அமைப்பு (Construction)

இந்த எதிர் மின்கதிர் அலை வரைவியின் பகுதிகள் படத்தில் (படம் 67) காட்டப்பட்டிருக்கின்றன.



படம் 67

இவையெல்லாம் ஒரு தனிவகை வடிவம் உடைய வெற்றிடச் குழலின் உள்ளே அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

1. எதிர்மின் அணுமூலம் (Electron Gun)

இதில் எதிர்மின்னணுமூலம் முடுக்கி (Accelerater) குவிக்கும் நேர்மின் வாய்கள் (Focussing anodes) ஆகியவை உள்ளன. எதிர்மின்னனு மூலம் ஒரு நேரடியாகவோ, மறைமுகமாகவோ சூடு படுத்தப்பட்ட ஒரு எதிர் மின்வாய் (Cathode) அல்லது டங்ஸ்டன் இழையாகும். இதைச் சுற்றி மாடுலேட்டர் என்று கூறப்படும் ஒரு உலோக நீள் உருளைக் கூடு இருக்கும், இது எதிர் மின்னழுத்தத்தில் (Negative Potential) இருக்கும். இந்த எதிர் மின்னழுத்தத்தை மாற்றி எதிர் மின்னணுக் கற்றையில் உள்ள எலெக்ட்ரான் எண்ணிக்கையை மாற்றலாம். இது ஒளிர் திரையில் தோன்றும் ஒளிப்புள்ளியின் பொலிவை (Brightness) மாற்றியமைக்கும். இதையடுத்து A_1, A_2 என்ற இரு நேர்மின் வாய்கள் உள்ளன. இவை உலோகத்தாலான நீள் உருளைக் கூடுகள். A_1 ன் மின்னழுத்தம் C-யை விட அதிகமாமவும், A_2

வின் மின் அழுத்தம் A_1 ஐ விட அதிகமாகவும் இருக்கும். இவை எதிர் மின்னணுக்களை முடுக்கி அவற்றின்வேகத்தைமிகுதியாக்கும். இவை ஒளிர்திரையில் விழும் மின்னணுக்கள் தெளிவான (Sharply defined) ஒளிப்புள்ளியில் தோற்றுவிக்க உதவுகின்றன. நேர் மின் வாய்களின் செயல் ஒளி இயலில் வில்லைகளின் (Lens) செயலைப் போன்றது.

2. ஒதுக்கத் தகடுகள் (Deflector plates)

இதில் x, x_2, y_1, y_2 என்ற நான்கு தகடுகள் உள்ளன, இவற்றில் x_1 x_2 தகடுகள் இணையாக செங்குத்து தளத்திலும் y_1 y_2 கிடைத்தளத்திலும் உள்ளன, இவை நேர்மின் வாய்களுக்கும், ஒளிர் திரைக்குமிடையே வைக்கப்பட்டிருக்கும். இவற்றை வெளி மின்னழுத்த மூலத்திற்கு இணைக்கலாம், x_1, x_2 தகடுகள் எதிர் மின்னணுக்கதிரை கிடைத்தள திசையிலும் y_1, y_2 தகடுகள் செங்குத்து திசையிலும் ஒதுக்கும். இவை மாறுதிசை மின்னோட்டத்திற்கு இணைக்கப்பட்டால் அதையொட்டி எதிர்மின் கதிரும் இயங்கும். இப்போது ஒளிர்திரையில் ஒரு நீண்ட கோடு தெரியும். கோட்டின் நீளம் மாறு திசை மின்னழுத்தத்தின் பெருமதிப்பின் இருமடங்கைப் பொறுத்தமையும். இந்த விளைவுகளை ஒரு காந்தப் புலத்தைக் கொண்டும் தோற்றுவிக்கலாம்.

3. ஒளிர்திரை (Florescent Screen)

வெற்றிடக் குழலின் முனையில் உள்பக்கத்தில் வில்லிமைட் (Willemite) என்ற ஒளிர் பொருள் பூசப்பட்டிருக்கிறது. இதன் மீது எதிர் மின்கதிர் விழும்போது வெளிர் பச்சை நிறமுடைய ஒளிப்புள்ளி தோன்றும், இதனால் எதிர்மின் கதிரின் இயக்கத்தை கண்ணால் பார்க்கமுடிகிறது.

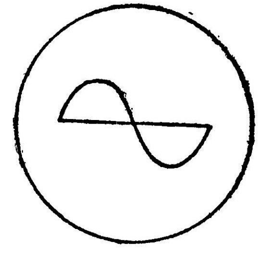
4. காலவடி (Time Base)

மிகு அதிர்வெண்ணுடைய அலைவடிவம் போன்றவற்றை பகுப்பாய y_1 y_2 ஒதுக்கத் தகடுகளுக்கு ஒரு நேர்கோட்டுக் காலவடி (Linear time base) தேவைப்படும். இந்த காலவடியின் செயல் x_1 x_2 தகடுகளுக்கு ஒரு பொருத்தமான மின் அழுத்தத்தைக் கொடுப்பதே. இதனால் எதிர் மின்கதிர் ஒரே நேரத்தில் சீரான அளவில் ஒதுக்கப்படுகிறது. எதிர்மின் கதிர் இடமிருந்து வலது பக்கமாக ஒரு நேர்க்கோட்டில் செல்லும். இயக்கத்தின் முடிவில் உடனடியாக துவக்கப் புள்ளிக்குத் திரும்பி விடும். இது அடுத்தடுத்து நிகழ்வதால் ஒளிர் திரையில் ஒளிப்புள்ளியின் இயக்கம் நேர்க்கோடாய் தெரியும். இத்தகைய காலவடிகளைத் தரும் மின்

சுற்றுகள் கருவியின் உள்ளேயே அடைக்கப் பட்டிருக்கின்றன. இதன் காலத்தை வேண்டிய அளவு மாற்றவும் வழிகள் உண்டு.

எதிர் மின்னணுகதிர் அலைவரைவி செயல்படும் முறை

இதைக் கொண்டு பல்கூட்டு ஒலியின் அலைவடிவங்களை கண்டறிய ஒரு மைக்ரோ ஃபோனும், பெருக்கியும் (Amplifier) பயன் படுத்தப்படுகின்றன. மைக்ரோபோன் முன்னால் ஒலி எழுப்பப்படும் போது அது ஒலி ஆற்றலை மின் துடிப்புகளாக (Electrical Pulses) மாற்றும். இது பொருத்தமாக பெருக்கப் பட்டு y_1 y_2 தகடுகளுக்கு இணைக்கப்படு கிறது. இத்தகடுகளில் தோன்றும் மாறு திசை மின் அழுத்தம் ஒலியின் அலைவடி வத்தைப் போன்றே இருக்கும். x_1 x_2 தகடுகளுக்குப் பொருத்தமான காலவடி யைக் கொடுத்து இந்த அலைவடிவத்தோடு ஒன்றி பொருந்தும்படி செய்யப்படுகிறது. இப்போது படத்தில் (படம் 67 *a*) காட்டியுள்ளபடி அலைவடிவம் தோன்றும் இதிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட சுருதியை பகுப்பாயலாம்.



படம் 67 (a)

குறுக்கீடு, விம்மல்கள் போன்றவற்றில் தோன்றும் தொகுப்பு அலைவடிவங்களையும் காணலாம்.

9.19. எதிர்மின் கதிர் அலைவரைவியின் பயன்கள்

இது இலிஸாஜுஸ் படங்களைக் கண்ணெதிரே காண வாய்ப் பளிக்கும் ஒரு மிக நல்ல கருவி. இதை ஒலியின் வேகம், அதிர் வெண் ஆகியவற்றைக் காணவும் பயன்படுத்தலாம்.

ஒலியின் அதிர்வெண்ணைக் காண மைக்ரோ ஃபோன் முன்னால் ஒலி எழுப்பப்படுகிறது. அதன் வெளிவருமளவு (Output) அல்லது வெளியீடு பொருத்தமான அளவு பெருக்கப்பட்டு x_1 x_2 தகடு களுக்குக் கொடுக்கப்படுகின்றது. y_1 y_2 தகடுகளுக்கு ஒரு படித்தர அலைவு இயற்றியின் வெளிவரும் அளவு கொடுக்கப்படுகின்றது. இப்போது எதிர்மின் கதிர் இந்த இரு செங்குத்து திசை அதிர்வு களுக்கு உட்படுத்தப்படும். எனவே ஒளிர் திரையில் இலிஸாஜுஸ் படம் தோன்றும். படத்தின் வடிவ அமைப்பில் இருந்து x_1 x_2 தகடுகளுக்குக் கொடுக்கப்பட்ட அலையின் அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

எடுத்துக் காட்டுகள்

1. மிகக்குறைந்த கேள்திறனுடைய ஒரு ஒலியின் திறன் 10^{-12} வாட்டுகள்/மீட்டர்^{2}, அது 0·00002 நியூட்டன்/

மீட்டர் அளவுள்ள அழுத்தத்தைக் கொடுக்கும் எனக் காண்பி. காற்றின் அடர்த்தி 1·29 கி. கிராம் / கன மீட்டர். காற்றில் ஒலியின் வேகம் 340 மீட்டர் / விநாடி.

$$I = \frac{P_v^2}{\rho v}$$

$$P_v = \sqrt{I \rho v}$$

இங்கு $I = 10^{-12}$ வாட் / மீட்டர்$_2$

$V = 340$ மீட்டர் / விநாடி.

$\rho = \cdot 00129$ கிராம் / க. செ. மீ.

$$\therefore P = \sqrt{10^{-12} \times \cdot 00129 \times 340}$$

$$= \cdot 2096 \times 10^{-4}$$

$= \cdot 00002$ நியூட்டன் / மீட்டர்^{2}.

2. கேள்திறனின் வலிமை 10^{-12} வாட்டுகள் / மீட்டர்^{2}. ஒரு சுருதியின் அதிர்வெண் 1000 என்றால் காற்றில் அவ்வலையின் வீச்சைக் கண்டுபிடி. காற்றில் ஒலியின் வேகம் 340 மீட்டர் / விநாடி. காற்றின் அடர்த்தி 1·29 கி. கிராம் / கன மீட்டர்.

$$I = 2\pi^2 n^2 a^2 v \rho$$

$$a = \frac{1}{\pi n} \sqrt{\frac{I}{2 v \rho}}$$

$$= \frac{1}{\pi \cdot 1000} \sqrt{\frac{10^{-12}}{2 \times 340 \times 1 \cdot 29}}$$

$= 1 \cdot 075 \times 10^{-11}$ மீட்டர்.

3. ஒரு ஒலிப்பான் விநாடிக்கு 1·5 ஜூல் உள்ள ஆற்றலை வெளிப்படுத்துகிறது. 20 மீட்டர் தொலைவில் ஒலியின் வலிமை என்ன? படித்தர ஒலி வலிமை மட்டம் 10^{-12} வாட்டுகள் / மீட்டர்^{2}.

ஆற்றல் சீராக எல்லா இடங்களிலும் பரவுவதால் 20 மீட்டர் தொலைவில் உள்ள மொத்தப் பரப்பளவு

$$= 4 \pi r^2$$

$= 4 \pi \times 20^2$ $\qquad \because r = 20$ மீட்டர்.

எனவே 20 மீட்டர் தொலைவில் வலிமை

$I_1 = \frac{1 \cdot 5}{4\pi \times 20 \times 20}$ வாட்/மீட்டர்^{2}

படித்தர வலிமை மட்டம்

$$I_0 = 10^{-12} \text{ வாட்/மீட்டர்}^2$$

வலிமை மட்டம்

$$L = 10 \log \frac{I_1}{I_0} = 10 \log \frac{\left(\frac{1 \cdot 9}{4\pi \times 400}\right)}{10^{-12}} \text{ டெசிபெல்கள்}$$

$$= 10 \log \frac{1 \cdot 5 \times 10^{12}}{1600\,\pi}$$

$$= 10 \log \frac{1 \cdot 5 \times 10^{10}}{16\,\pi}$$

$$= 85 \text{ டெசிபெல்கள்.}$$

4. ஒரு சாளரம் தெருப்பக்கத்தில் திறந்திருக்கிறது. அதன் பரப்பு 1·2 சதுரமீட்டர்கள். சாளரத்தில் ஒலி வலிமை மட்டம் 60 டெசி பெல்கள். ஒலி அலையின் மூலம் சாளரம் வழியே விநாடிக்கு எவ்வளவு ஆற்றல் நுழைகிறது?

ஒலி வலிமை மட்டம் $(L) = 10 \log \frac{I_1}{I}$ டெசிபெல்கள்.

$$60 = 10 \log_{10} \frac{I}{10^{-12}}$$

$$\therefore I = 10^{-6} \text{ வாட்/மீட்டர்}^2$$

$$\text{ஆற்றல்/விநாடி} = I \times \text{பரப்பு}$$

$$= 10^{-6} \times 1 \cdot 2 \times 1 \cdot 2$$

$$= 1 \cdot 44 \times 10^{-6} \text{ வாட்கள்.}$$

வினாக்கள்

1. ஒரு இசைச்சுரத்தின் சுருதி, சுரப்பண்பு ஆகியவற்றை வரையறுத்துக்கூறு.

2. இசை ஒலிகளுக்கும், இசைகளுக்கும் உள்ள வேறுபாடு என்ன? இசை ஒலியின் முக்கிய குணங்கள் யாவை? அவற்றை எவ்வாறு துல்லியமாகக் கணக்கிடலாம்?

3. ஒரு இசை ஒலியின் முக்கியப் பண்புகள் யாவை? அவற்றை எவ்வாறு துல்லியமாகக் கணக்கிடலாம்?

4. ஒத்ததிர்வுகளைப் பயன்படுத்தி ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் எவ்வாறு பல்கூட்டு ஒலியைப் பகுப்பாய்ந்தார் என்பதை விளக்கி எழுது.

5. ஒரு இசைச்சுரத்தில் சுர அடுக்குகள் உள்ளன என்பதை எவ்வாறு கண்டுபிடிப்பாய் ?

6. ஒலியின் வலிமை ஒலிவேகத்தின் வீச்சைப் பொறுத்து அமையும் என்று காண்பி. டெசிபெல், ஃபோன் என்பன யாவை ?

7. ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸின் ஒத்ததிர்வுவிதியைப்பற்றி விவரித்து எழுது. அதன் அதிர்வெண்ணுக்கு ஒரு கோவையைக் காண்.

8. ஒலி வலிமை, அழுத்த வீச்சு (Pressure Amplitude) இவற்றை வரையறுத்துக் கூறு. இவற்றிடையே உள்ள தொடர்பு என்ன ?

9. ஒரு எதிர்மின் கதிர் அலைவரைவியின் அமைப்பை விளக்கி எழுது. அது ஒரு பல்கூட்டு ஒலியின் சுரப்பண்பைக் காண எவ்வாறு பயன்படுகிறது ?

10. படித்தர வலிமை $= 10^{-12}$ வாட்/மீட்டர்^{2} என்றால் ஒரு 10^{-6} வாட்/மீட்டர்^{2} வலிமையுள்ள ஒலியின் வலிமை மட்டத்தை டெசிபெல்லில் காண்க.

11. P_1, P_2 என்பவை இரு ஒலி அலைகளின் அழுத்த வீச்சுகள் ஆனால் அவற்றிடையே வலிமை மட்டம் $L_2 - L_1 = 20 \log \frac{P_2}{P_1}$ எனக் காண்பி.

12. ஒரு ஒலி அலையின் ஆற்றல் சதுர மீட்டருக்கு $0 \cdot 001$ வாட் என்றால் அழுத்தத்தில் தோன்றும் உயர்வைக் கணக்கிடு. ஒலியின் வேகம் 340 மீட்டர்/விநாடி. காற்றின் அடர்த்தி $1 \cdot 293$ கி. கிராம்/கன மீட்டர்.

13. அதிர்வெண் 1000, வீச்சு $2 \cdot 24 \times 10^{-10}$ மீட்டரும் உடைய ஒரு ஒலி அலையின் வலிமையையும், அழுத்த வீச்சையும் கணக்கிடு. ஒலியின் வேகம் விநாடிக்கு 340 மீட்டர். காற்றின் அடர்த்தி $1 \cdot 293$ கி. கிராம்/கன மீட்டர்.

10. இசைச்சுர அளவீடுகள்

(Musical Scales)

10·1 இசை அளவீடுகளில் சில வரையறைகள்

இரண்டு தனித்தனி அதிர்வெண்ணுடைய சுரங்கள் ஒன்ருக ஒலிக்கப்படும்போது அவை ஒன்றுடன் ஒன்று பொருந்தி ஒரு கூட்டு ஒலி கேட்கும். சில கூட்டு ஒலிகள் செவிக்கு இனிமையாகவும் மற்றவை இனிமையற்றதாகவும் இருக்கும். செவிக்கு இனிமை பயக்கக்கூடிய கூட்டொலிக்கு ஒத்திசை (Concord (or) consonance) எனவும், செவிக்கு இனிமையற்ற கூட்டொலிக்கு ஒவ்வா இசை (discord (or) disonance) எனவும் பெயர். இரு சுரங்கள் ஒன்ருக ஒலிக்கப்படும்போது ஒத்திசையாக இருந்தால் அவை ஒருங்கிசையில் (Harmony) இருப்பதாகச் சொல்லுகிறேம். சுரங்கள் அடுத்தடுத்து ஒலிக்கப்பட்டால் அதை இன்னிசை ஒலி (Melody) என்கிறேம். ஒத்திசையும் ஒவ்வா இசையும் இரு சுரங்களின் அதிர்வு எண் தகவைப் பொருத்தது. இரு சுரங்களின் அதிர்வெண்களில் பெரிய அதிர்வெண்ணுக்கும் சிறிய அதிர்வெண்ணுக்கும் உள்ள தகவு இடைவெளி (Interval) எனப்படும். இந்தத் தகவு எளியதாக இருந்தால் (தகவில் உள்ள எண்கள் சிறியதாக) இனிமை அதிகம் இருக்கும். அத்தகைய இடைவெளி ஒத்திசை இடைவெளி (consonant interval) எனப்படும். இசை அளவீடுகளில் இதுபோன்ற ஒத்திசை இடைவெளிகளைப் பற்றிப் படிப்போம்.

10·2 டயட்டானிக் சுரவரிசை (Diatonic Scale)

அடுத்தடுத்து ஒலிக்கப்படும்போது இனிமை பயக்கக்கூடிய, குறிப்பிட்ட எளிய இடைவெளிகளைக் கொண்ட ஒரு வரிசையான சுரங்களுக்கு சுரவரிசை அல்லது இசைச்சுர அளவீடு (Musical scale) எனப்பெயர்.

பெரும்பாலும் நடைமுறையிலுள்ள சுரவரிசை 'காமட்' (Gamut) அல்லது 'டயட்டானிக் சுரவரிசை' (Diatonic scale) என்பதாகும். இதில் 8 சுரங்கள் வரிசையாக உள்ளன. கடைச் சுரத்திற்கும் முதற்சுரத்திற்கும் உள்ள இடைவெளி $\frac{2}{1}$. எனவே இது ஒரு எண்மம் (octave) எனப்படும். இந்த வரிசை

C	D	E	F	G	A	B	C'
ச	ரி	க	ம	ப	த	நி	ச'

இந்தச் சுரங்களெல்லாம் அதிர்வெண் ஏறுவரிசையில் (increasing order) உள்ளன. எனவே அவைகளின் சுருதியில் ஒரு ஏற்றம் (Gradation) இருக்கும். அவற்றின் அதிர்வு எண்கள்

	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	*2*
அல்லது	*1*	*1·125*	*1·250*	*1·333*	*1·500*	*1·667*	*1·875*	*2*

மூலச்சுரம் (Key note) *C*-யின் அதிர்வெண் *24* எனக்கொண்டால் மற்ற சுரங்களின் அதிர்வெண்கள் டயட்டானிக் சுரவரிசையில்

24 *27* *30* *32* *36* *40* *45* *48*

24–27	27–30	30–32	32–36	36–40	40–45	45–48
$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$
(பெரிய சுரம்)	(சிறிய சுரம்)	(அரைச் சுரம்)	(பெரிய சுரம்)	(சிறிய சுரம்)	(பெரிய சுரம்)	(அரைச் சுரம்)
(Major tone)	*(Minor tone)*	*(Semi tone)*	*(Major tone)*	*(Minor tone)*	*(Major tone)*	*(Semi tone)*

மூலச்சுரத்தின் அதிர்வெண்ணை *256* எனக்கொண்டால் இந்த வரிசைப்படி

256 *288* *320* *341·3* *384* *426·7* *480* *512*

இச்சுரங்கள் தனிச்சிறப்பான (Peculiar) இடைவெளியுடையவை. இவை நீண்ட காலத்திற்கு முன்பே செவிக்கு இனிமைபயக்கும் ஒத்திசைகளாக செவியால் உணரப்பட்டவை. அவற்றின் அதிர்வு எண்கள் அறிவியல் முறையில் ஆய்வு செய்யப்படுவதற்கு முன்பே செவியால் இனிமையுடைய சுரங்களாக தெரிந்தெடுக்கப்பட்டவை.

இந்த டயட்டானிக் அளவீட்டில் மூன்று முதன்மையான இடைவெளிகள் உள்ளன. அவை பெரியசுரம் [Major tone—$\frac{9}{8}$] சிறியசுரம் [minor tone—$\frac{10}{9}$] அரைச்சுரம் [Semi tone—$\frac{16}{15}$]. இதிலுள்ள சுரவரிசை பெரியசுரம், சிறியசுரம், அரைச்சுரம், பெரியசுரம், சிறியசுரம், பெரியசுரம், அரைச்சுரம். பெரியசுரம் மிகுந்து வருவதால் இதையே பெரியசுர டயட்டானிக் அளவீடு எனவும் சொல்வதுண்டு. இந்த அளவீட்டை *C* சுரத்திற்குக் கீழே யும் C^1 சுரத்திற்கு மேலேயும் நீடிக்கலாம். ஒரு எண்மத்திற்குள்

உள்ள ஒத்திசையைத்தரும் இடைவெளிகள் $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$, 2 ஆகியவை. இவை நான்காவது — Fourth, ஐந்தாவது—fifth, எண்மம்— எட்டாவது எனப்படும்.

10·3. டயடானிக் அளவீட்டை அமைத்தல்

இந்த டயடானிக் அளவீடு மேலேநாடுகளிலும், கீழை நாடு களிலும் பல நூற்றுண்டுகளாக நடைமுறையில் உள்ளது. இது யாரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது என்று தெரியாது. ஆனால் அதிரும் கம்பியின் பகுதிகளைக் கொண்டு இந்த அளவீடு அமைக்கப்பட்டது எனத்தெரிய வருகிறது. இவை ஒன்றுக்கொன்று எளிய முறையில் தகவு கொண்டிருப்பதால் இந்த அளவீட்டை ஏற்றுக்கொண்டிருக் கலாம். இதன் அமைப்பைக் காண்போம். ஒத்திசை இடை வெளிகள் (Consonant Interval) $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$, 2 ஆகியவை. அடிப்படை சுரமான *C*-யிலிருந்து துவங்கி இவை சுருதியின் ஏறுவரிசையில் அமைகின்றன. இந்த அடிப்படை சுரத்திற்கு பெரும்சுர நாண் (Major Chord) எனப்பெயர். இதன் அடிப்படையில் *C*-யின் அதிர்வு எண்ணை ஓர் அலகு எனக்கொண்டால் மற்ற 4 சுரங்களாவன

C	*F*	*G*	C^1
1	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	2

இந்த இசைக் கூட்டிற்கு, இன்னிசை முக்கூடு (Triod) எனப் பெயர். இதன் அதிர்வு எண் தகவு 4: 5: 6 ஆகும். இதில் அடுத்தடுத்து வரும் அதிர்வு எண்கள்

$$1, \quad 1\times\frac{5}{4}=\frac{5}{4}, \qquad 1\times\frac{6}{4}=\frac{3}{2}$$

C (ச) சுரத்திற்கான முக்கூட்டு, $1, \frac{5}{4}, \frac{3}{2}$

$$\frac{4}{3}, \quad \frac{4}{3}\times\frac{5}{4}=\frac{5}{3}, \qquad \frac{4}{3}\times\frac{6}{4}=2.$$

F (ம) சுரத்திற்கான முக்கூட்டு, $\frac{4}{3}, \frac{5}{3}, 2.$

$$\frac{3}{2}, \quad \frac{3}{2}\times\frac{5}{4}=\frac{15}{8}, \qquad \frac{3}{2}\times\frac{6}{4}=\frac{9}{4}$$

G (ப) சுரத்திற்கான முக்கூட்டு, $\frac{3}{2}, \frac{15}{8}, \frac{9}{4}$

$\frac{9}{4}$ சுரத்தை எண்மத்திற்குக் கீழே கொண்டு வந்தால்,

$\frac{9}{4}\times\frac{1}{2}=\frac{9}{8}$ என ஆகும்,

இந்த முறைப்படி எண்மத்தில் உள்ள எட்டு சுரங்களையும் ஏறுவரிசையில் அடுக்கினால்

C	D	E	F	G	A	B	C^1
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

10·4. இசை இடைவெளிகள்

இசை இடைவெளிகள் என்பது இரு அதிர்வு எண்களுக்கு இடையே உள்ள தகவு ஆகும். அவற்றின் வேறுபாடு அல்ல. 300,150 அதிர்வெண்களை உடைய சுரங்களின் இடைவெளியும் 400,200 அதிர்வெண்களை உடைய சுரங்களின் இடைவெளியும் சமமாக இருக்கும். ஆனால் வேறுபாடு சமமானவை அல்ல. எனவே இசை அளவீடுகளில் தகவுகளைத்தான் எடுத்துக்கொள்கிறோம். எனவே இரு இடைவெளிகளின் கூட்டு என்பது (Sum) அந்த இடைவெளிகளைப் பெருக்கிவரும் தொகைக்குச் சமமாகும். ஒரு இசை அளவீட்டில் A, B, C, D என்ற நான்கு சுரங்கள் இருப்பதாகக் கொள்வோம். அவற்றின் அதிர்வெண்கள் முறையே

$$n_1, n_2, n_3, n_4$$

A, B சுரங்களுக்கு இடையே உள்ள இடைவெளி $= n_2/n_1$

C, B சுரங்களுக்கு இடையே உள்ள இடைவெளி $= n_3/n_2$

D, C சுரங்களுக்கு இடையே உள்ள இடைவெளி $= n_4/n_3$

Dக்கும் Aக்கும் இடையேஉள்ள இடைவெளி

$$= \frac{n_2}{n_1} \times \frac{n_3}{n_2} \times \frac{n_4}{n_3}$$

$$= \frac{n_4}{n_1}$$

எனவே இருசுரங்களுக்கு இடையே உள்ள இடைவெளி கூட்டு முறையால் கணக்கிடப்படாமல் இடைவெளிகளின் தொடர் பெருக்கால் கணக்கிடப்படுகிறது.

இடைவெளிகள் சென்ட் (Cent) என்னும் அலகால் குறிக்கப்படும். ஏனெனில் ஒரு அரைச்சுரம் (Semi-tone) 100 சென்டுகளால் ஆனது. ஒரு இடைவெளியில் குறிக்கப்படும் சென்டுகளின் எண்ணிக்கை இந்த இடைவெளியின் log-க்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். ஒரு எண்மம் 12 அரைச்சுரங்களால் ஆனது. ஒவ்வொரு அரைச்சுரமும் 100 சென்ட்டுகள் கொண்டது. எனவே ஒரு எண்மத்தில் 1200 log சென்ட்டுகள் உண்டு.

$$1200 = K \log (2/1)$$

$$\text{அல்லது } K = \frac{1200}{\log 2}$$

$\frac{n_2}{n_1}$ என்ற இடைவெளியை சென்ட்டுகளில் குறித்தால்

$$\text{இடைவெளி } \boxed{\frac{n_2}{n_1} = \frac{1200 \log (n_2/n_1)}{\log 2} \text{ சென்ட்கள்}}$$

எடுத்துக்காட்டாக,

$$\text{பெரிய சுரம் (Major-Tone) } \left(\frac{9}{8}\right) = \frac{1200 \log (9/8)}{\log 2}$$

$$= 204 \text{ சென்ட்டுகள்}$$

$$\text{சிறிய சுரம் (Minor-Tone) } \left(\frac{10}{9}\right) = \frac{1200 \log (10/9)}{\log 2}$$

$$= 152 \cdot 5 \text{ சென்ட்டுகள்}$$

$$\text{அரைச் சுரம் (Semi-Tone) } \left(\frac{16}{15}\right) = \frac{1200 \log (16/15)}{\log 2}$$

$$= 111.6 \text{ சென்ட்டுகள்}$$

இசைவு செய்தலுக்காக (For Tuning) ஒரு மிகச்சிறிய இடைவெளி பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதற்கு 'கொம்மா' (Comma) எனப் பெயர். இந்த இடைவெளி ஒரு பெரிய சுரத்திற்கும் சிறிய சுரத்திற்கும் உள்ள வேறுபாடு

$$\frac{9}{8} \div \frac{10}{9} = \frac{81}{80}$$

$$= 1.0125$$

இது $21 \cdot 5$ சென்ட்டுகளுக்குச் சமம்.

இசை இடைவெளியைப் பொருத்த அளவில் கீழ்காணும் குறிப்புக்களை நினைவில் வைத்துக்கொள்ள வேண்டும்.

(1) இசை இடைவெளிகளின் கூட்டுத்தொகை (Sum) என்பது அவற்றின் பெருக்கல் தொகையைக் குறிக்கும். அல்லது log கூட்டுத் தொகையைக் குறிக்கும். எடுத்துக்காட்டாக,

F(ம), *C*(ச) சுரங்களுக்கு இடையே உள்ள இடைவெளி $\frac{4}{3}$ ஆகும். இதன் பெயர் நான்காவது (Fourth).

நான்காவது $\frac{4}{3}$ = மேஜர் மூன்ருவது $\frac{5}{4}$ × அரைச்சுரம் $\frac{16}{15}$
(Fourth) (Major third) (Semi-Tone)

அல்லது $\log \frac{4}{3} = \log \frac{5}{4} + \log \frac{16}{15}$.

(2) இசை இடைவெளிகளுக்கு இடையே உள்ள வேறுபாடு என்பது அவற்றின் வகுத்தலுக்குச் சமம். அல்லது log வேறுபாட்டுக்குச் ம்சம.

எடுத்துக்காட்டாக,

$$F(\text{ம})\ \frac{4}{3} \text{ க்கும் } E(\text{க})\ \frac{5}{4} \text{ க்கும் உள்ள வேறுபாடு} = \frac{16}{15}$$

$$\frac{16}{15} = \frac{4}{3} \div \frac{5}{4}$$

$$\log\left(\frac{16}{15}\right) = \log\left(\frac{4}{3}\right) - \log\left(\frac{5}{4}\right).$$

10·5. ஒத்திசையும் (Consonance), ஒவ்வாஇசையும் (Disonance) ஒத்திசை இடைவெளிகள் (Consonant Intervals)

செவியில் இனிமைபயக்கும் இசை இடைவெளிகளை ஒத்திசை இடைவெளிகள் எனக் கூறுகிறோம். இனிமைபயக்கும் வரிசையில் உள்ள சில இசை இடைவெளிகள் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. டயடானிக் அளவீட்டில் அவற்றின் நிலைகளைப் பொருத்து அவை பெயரிடப்பட்டிருக்கின்றன.

யூனிசான் (Unison)	=	*1 : 1*
எண்மம் (Octave)	=	*2 : 1*
ஐந்தாவது (Fifth)	=	*3 : 2*
நான்காவது (Fourth)	=	*4 : 3*
பெரிய மூன்ருவது (Major third)	=	*5 : 4*
சிறிய மூன்ருவது (Minor third)	=	*6 : 5*
பெரிய ஆருவது (Major sixth)	=	*5 : 3*
சிறிய ஆருவது (Minor sixth)	=	*8 : 5*
பெரிய சுரம் (Major-Tone)	=	*9 : 8*
சிறிய சுரம் (Minor-Tone)	=	*10 : 9*
அரைச் சுரம் (Semi-Tone)	=	*16 : 15*

இடைவெளி 8/9 அடைந்தவுடன் ஒவ்வாத இசையாகி செவிக்கு இன்பம் பயக்காததாக அமைந்துவிடும். ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ்

(Helmholtz) என்பவர்தான் முதன் முதலில் பல்வேறு இடைவெளி களின் ஒத்திசைக் காண கொள்கையைக் (Theory of Consonance) கண்டார். பல்கூட்டு ஒலியில்கூட உள்ள, மேல்சுரங்களின் ஒத்திசைவை விளக்கினுர்.

10·6. ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸின் (Helmholtz's) ஒத்திசை, ஒவ்வாஇசை கொள்கை (Theory of Consonance and Dissonance)

ஹெல்ம்ஹோல்ட்சின் (Helmholtz's) கொள்கைப்படி ஒவ்வா இசை தோன்றுவதின் பௌதிக அடிப்படை (Physical basis) எளிதானது. அடிப்படை சுரங்களுக்கிடையே அல்லது அவற்றின் மேல் சுரங்களுக்கிடையே தோன்றும் விம்மல்களினுல்தான் ஒவ்வா இசை தோன்றுகிறது. இது விட்டு விட்டு ஒளிரும் (Flickering light) விளக்கு, கண்ணுக்குத் தரும் எரிச்சலைப் போன்றது. மிக மெதுவாக எழும் விம்மல்கள் ஓரளவு செவியினுல் ஏற்றுக்கொள் ளக்கூடியவை. ஆனுல் விரைவாக எழும் விம்மல்கள் செவியினுல் தனித்தனியாக உணரப்படுவதில்லை. விம்மல்களின் எண்ணிக்கை உயர உயர இனிமை குறைகிறது. எனினும் இசையின் அளவு மாறிக்கொண்டே செல்லும். ஒரு நிலையில் பெருமதிப்பை அடைந்துவிடும்.

எடுத்துக்காட்டாக, தனித்தனியே அதிரும்போது ஒரே சுத்த சுரத்தை (Pure note) எழுப்பும் இரு இசைக்கவைகளை எடுத்துக் கொள்வோம். அவற்றின் அதிர்வுஎண் 512ஆக இருக்கட்டும். அவை ஒத்திசைவுப் பெட்டிகளில் பொருத்தப்பட்டவைகளாக இருத்தல் வேண்டும். ஒரு இசைக்கவைக்கு சிறிது மெழுகை ஒட்டி அதன் சுருதி குறைக்கப்படுகிறது. இப்போது இரண்டும் ஒரே நேரத்தில் ஒலித்தால் விம்மல்கள் கேட்கும். வினுடிக்கு நான்கு விம்மல்கள் வரை செவி அவற்றை தனித்தனியே உணரும். எனவே, இனிமை கெடாது. சுருதி குறைந்த இசைக்கவைக்கு மேலும்மேலும் சுமை ஏற்றினுல் அவற்றிடையே வேறுபாடு மிகுந்து கொண்டே செல்லும். விம்மல்களின் எண்ணிக்கை உயர செவி அறுசுரத்தை (Jarring) உணரும். இது வினுடிக்கு 32 விம்மல்களா கும்போது மிக அதிகமாக இருக்கும். இப்போது குறைந்த சுருதி யின் அதிர்வெண் $512-32=480$. இரண்டிற்கும் இடையேயுள்ள இடைவெளி (Interval) $\frac{512}{480}=\frac{16}{15}$. இது ஒரு அரைச்சுர இடை வெளி (Semi-tone interval) ஆகும். சுருதி குறைந்த இசைக்கவை மேலும் சுமைப்படுத்தப்பட்டால் விம்மல்கள் மேலும் அதிக மாகும். இப்போது அறுசுரம் (Jarring) குறையத் தொடங்கும். வினுடிக்கு 85 விம்மல்கள் ஆகும்போது அறுசுரம் இல்லாமலே

போய்விடும். இப்போது கீழ்சுருதியின் அதிர்வு எண் 512—85= 427. அவற்றின் இடைவெளி (Interval) $\frac{512}{427}=\frac{6}{5}$. இது சிறிய மூன்றுவது (Minor Third) இடைவெளிக்குச் சமம். எனவே நாம் ஒத்திசைவிலிருந்து (Unison 1 : 1), சிறிய மூன்றுவது $\left(\text{Minor Third } \frac{6}{5}\right)$ வரை செல்லும்போது அறுசுரத்தின் தன்மை வேறுபடுவதைக் கண்டோம். அறுசுரத்தின் பெருமதிப்பு ஒரு அரைச்சுர இடைவெளியில் $\left(\text{Semi-tone Interval } \frac{16}{15}\right)$ தோன்றுகிறது. இந்த முறையில்தான் முன்பக்கத்தில் அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள ஒத்திசை இடைவெளிகள் பெறப்பட்டன.

இந்த முடிவு இசை அளவீட்டின் எல்லாப் பகுதிகளுக்கும் ஏற்றதல்ல. மேலே கண்டபடி 512 அதிர்வெண்ணுடைய சுருதியின் பக்கங்களில் அறுசுரம் தோன்றுகிறது. இது வினாடிக்கு 32 விம்மல்களில் பெருமதிப்புடையதாயிருக்கிறது. இரு சுரங்கள் ஒரு அரைச்சுர இடைவெளியிலிருக்கும்போது அறுசுரம் மிகுந்திருக்கும். இதைவிட அதிகமான அதிர்வு எண்களுக்கு பெருமதிப்புடைய அறுசுரத்தைக் கொடுக்கும் விம்மல்களின் எண்ணிக்கை மிகுந்து கொண்டேபோகிறது. இது அதிர்வெண்ணுக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்காது. அறுசுரத்தைக் கொடுக்கும் இடைவெளி குறைந்து கொண்டே செல்லும். 1024 அதிர்வெண்ணுடைய சுரத்தில், வினாடிக்கு 54 விம்மல்களில் அறுசுரம் மிகுந்து இருக்கும். இங்கு இடைவெளி

$$\frac{1024}{1024-54}=\frac{1024}{970}=1{\cdot}055.$$

இது ஒரு அரைச்சுரத்தைவிட குறைந்தது. இதே போன்று கீழ் சுருதிகளுக்கு மிகுந்த அறுசுரத்தைக் கொடுக்கும் விம்மல்களின் எண்ணிக்கை 32-ஐ விடக் குறைவாக இருக்கும். 256 அதிர்வு எண் உடைய சுருதிக்கு 18·8 அல்லது 19 விம்மல்களில் (வினாடிக்கு) அறுசுரம் மிகுந்திருக்கும். இங்கு இடைவெளி $\frac{256}{237}=1{\cdot}08$. இது ஒரு அரைச்சுரத்தை விட அதிகமானது.

கீழேயுள்ள மேயரின் (Mayer's) அட்டவணை அறுசுரம் பெருமதிப்பாகஇருக்கும்போது தோன்றும் விம்மல்களின் எண்ணிக்கை, அறுசுரம் மறையும்போது உள்ள விம்மல்களின் எண்ணிக்கையைத் தருகிறது.

10·7. மேயரின் (Mayer's) அட்டவணை

கீழ் சுருதியின் அதிர்வு எண்	1 வினடிக்கு விம்மல்கள்	
	அறுசுரம் பெருமதிப்பாக உள்ளது	அறுசுரம் மறையும் போது
64	6·4	16
128	10·4	26
256	18·8	47
384	24·0	60
512	31·2	78
640	36·0	90
768	43·6	109
1024	54·0	135

இங்கு இரு சுத்த சுரங்களை மட்டுமே கண்டோம். ஆனல் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட சுரங்களையுடைய பல்கூட்டு சுரங்களில், மேல் சுரங்களும் (Over tones) இருக்கும். இவைகூட ஒன்ருக ஒலிக்கும்போது விம்மல்களைத் தோற்றுவிக்கலாம். இவையும் அபசுரம் தோன்றுவதற்குக் காரணமாகலாம். ஒரே ஒரு பல்கூட்டு சுரம்கூட (Complex note) ஓரளவு அறுசுரத்தைப் பெற்றிருக்கலாம். எனவேதான் திறன் மிகுந்த நீண்டசுர அடுக்குகள் (Long Powerful harmonics) ஏறத்தாழ கொடூரமாய் (Harsh) இருக்கும். அடுக்குச் சுரத்தில் மேலே செல்லச் செல்ல வலிமை குறைவதாக இருந்தால் அடுக்கில் ஆருவதிற்கு மேலுள்ளவற்றைத் தள்ளி விடலாம். கீழே சில இசை இடைவெளிகளின் ஒத்திசையைக் காண்போம்.

10·8. சில முதன்மை இசை இடைவெளிகளின் ஒத்திசை

பல்வேறு இசை இடைவெளிகளின் ஒத்திசையைப் பற்றிப் படிக்கும்போது கீழ்க்காணும் தற்கோள்கள் (Assumptions) மேற்கொள்ளப்படுகின்றன.

1. இருசுரங்களும் முழு அளவு அடுக்குச் சுரங்களைப் (Full Series of Harmonics) பெற்றிருக்கின்றன.

2. ஒவ்வொரு சுர அடுக்கிலும் ஆறுக்கு மேற்பட்டவை வலிமையற்றவை. எனவே அவை கணக்கில் வரா.

3. கூட்டோசைகளின் (Effect of Combination notes) விளைவு கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ளப்படுவதில்லை,

4. மிக அதிகமான அறுசுரத்தைக் கொடுக்கும் இடைவெளி (Most Dissonant Interval) அரைச்சுர இடைவெளிக்குப் பக்கத்தில் தான் இருக்கும்.

(a) ஒத்திசை (Unison), *1 : 1*

முதல் சுரத்தின் ஒவ்வொரு கூறும் ஒன்றோடொன்று பொருந்தி வலிமை மிக்கதாய் ஆகின்றது. விம்மல்கள் தோன்றுவதில்லை. எனவே இந்த இடைவெளி மிகுந்த இனிமை (Most Consonant) உடையது.

(b) எண்மம் (Octave), *2 : 1*

முதல் சுரம் (கீழ் சுருதி)	1	2	3	4	5	6
இரண்டாவது சுரம் (மேல் சுருதி)	2	4	6	8	10	12

கீழ்சுருதி முதலில் தோன்றி, பின் மேல் சுருதி தோன்றினால் இரண்டாவது சுருதி, முதல் சுருதியில் இல்லாத அடுக்குச் சுரங் களைத் தோற்றுவிப்பதில்லை. இங்கு கீழ்சுருதியில் ஒன்றுவிட்ட ஒன்று அடுக்குச்சுரங்கள் மேல் சுருதியின் அடுக்குச் சுரங்களோடு ஒன்று படுகின்றன. எனவே விம்மல்கள் தோன்றா. எண்மத்தின் ஒத்திசை முழு நிறைவாக (Perfect) இருக்கிறது.

(c) ஐந்தாவது (Fifth), *3 : 2*

முதல் சுரம் (கீழ் சுருதி) 2 4 6 8 10 12

இரண்டாவது சுரம் (மேல் சுருதி) 3 6 9 12 15 18

இங்கு மூன்றாவது அடுக்குச்சுரத்தில் ஒத்திசை அவ்வளவு நன்றாக இல்லை. இது முதல் சுரத்தின் நாலாவது, ஐந்தாவது அடுக்குகளின் விம்மல் தோன்றும் தொலைவில் இருக்கிறது. *9/8*, *10/9* இடைவெளிகள் சிறிது அறுசுரத்தை எழுப்பினாலும் அவை மிகு அறுசுரத்தை எழுப்பும் அரைச்சுர இடைவெளியை விடப் பெரியதாக இருக்கிறது. எனவே ஐந்தாவது மிக நன்றாக இல்லாவிட்டாலும் ஒரு நல்ல ஒத்திசையாகும்.

(d) நான்காவது (Fourth), *4 : 3*

முதல் சுரம் (கீழ் சுருதி) 3 6 9 12 15 18

இரண்டாவது சுரம் (மேல் சுருதி) 4 8 12 16 20 24

இது ஒத்திசை அல்லாத ஒருவகை. மிகக் குறைந்த அபசுர

இடைவெளிகளோடு $\left(\frac{9}{8}, \frac{20}{18} = \frac{10}{9}, \frac{18}{16} = \frac{9}{8}\right)$ இரண்டாவது சுருதியின் நான்காவது அடுக்கு முதல் சுரத்தின் ஐந்தாவது அடுக்கோடு ஒரு அரைச்சுர இடைவெளியை $\left(\frac{16}{15}\right)$த் தோற்றுவிக்கிறது.

(e) பெரிய மூன்றுவது (Major third), *5 : 4*

முதல் சுரம்	(கீழ்சுருதி)	4	8	12	16	20	24
இரண்டாவதுசுரம்	(மேல் சுருதி)	5	10	15	20		25

இது முன்னதைவிட மிகவும் மோசமானது. கீழ் சுருதியின் நான்காவது அடுக்கோடு மேல் சுருதியின் மூன்றுவது அடுக்கு ஒரு அரைச் சுரத்தை $\left(\frac{16}{15}\right)$ கொடுக்கும். கீழ் சுருதியின் ஆறுவது அடுக்கு மேல் சுருதியின் ஐந்தாவது அடுக்கோடு $\frac{25}{24}$ இடைவெளியைத் தோற்றுவிக்கிறது. இது ஏறத்தாழ ஒரு அரைச்சுரம். எனவே, இங்கு ஒவ்வா இசை மிகுந்திருக்கும்.

(f) சிறிய மூன்றுவது (Minor third), *6 : 5*

முதல் சுரம்	(கீழ் சுருதி)	5	10	15	20	25	30
இரண்டாவது சுரம்	(மேல் சுருதி)	6	12	18	24		30

இது பெரிய மூன்றுவதைப் போலவே உள்ளது. இங்கு $\frac{25}{24}$ இடைவெளி ஏறத்தாழ ஒரு அரைச்சுரம். இது அடுக்கில் சற்று முன்னதாகவே தோன்றுகிறது.

(g) அரைச்சுரம் (Semi-tone), *16 : 15*

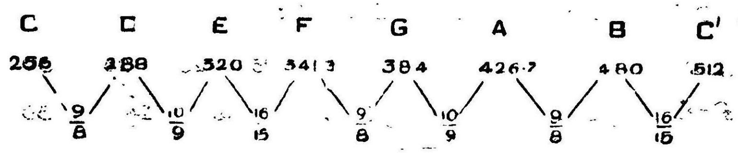
முதல் சுரம்	(கீழ் சுருதி)	15	30	45	60	75	90
இரண்டாவது சுரம்	(மேல சுருதி)	16	32	48	64	80	96

இரண்டாவது சுரத்தின் ஒவ்வொரு அடுக்கும் முதல் சுரத்தின் சரியான அடுக்கிற்கு அரைச்சுரங்களாக உள்ளது. எனவே இங்கு ஆறு அரைச்சுரங்கள் உள்ளன. இவை பெருமதிப்புடைய ஒவ்வா இசை விளைவை (மிக அறுசுரத்தை) தோற்றுவிக்கின்றன.

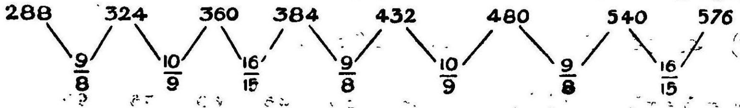
இதேபோல் ஒவ்வா இசை (dissonant) இடைவெளிகளுக்கும் விளக்கம் கொடுக்கலாம்,

10·9. டயடானிக் அளவீட்டின் குறைபாடும், சமசுதி அளவீட்டின் தேவையும்

டயடானிக் அளவீட்டில் எல்லாச் சுரங்களும் மூலசுரத்தைப் பொருத்து அமைகின்றன. இவையெல்லாம் ஒரே சுரத்தில் ஒலி எழுப்பப்பட்டால் அவை இனிமை பயக்கா. எனவே. இனிமை பயக்கும் இசைக்கு சுருதியில் சற்று வேறுபாடுள்ள சுரங்கள் தேவைப்படுகின்றன. ஒரு இசைக்கோவையில் (Musical composition) *C* சுரத்தில் தொடங்கி உடனே *D* சுரத்திற்கு மாறலாம். இப்போது *D*-யைத் தொடக்கமாகக் கொண்டு ஒரு புதிய டயடானிக் அளவீட்டிற்குச் செல்ல வேண்டும். இவை இரண்டும் ஒன்றாக இராது. எனவே, இசையின் இனிமை மாறுபட்டுவிடும். பல்வேறு மூலச்சுரங்களுக்கும் ஒத்துக்கொள்ளும் வகையில் சில புதிய சுரங்கள் அறிமுகப்படுத்தப்பட்டன. அவை 'கூர்மை' (Sharp), 'தட்டை' (Flat) எனப்பட்டன. டயடானிக் அளவீட்டில் உள்ள ஒரு சுரத்தைவிட சற்று சுருதி மிகுந்தது அதன் கூர்மை எனவும். சுருதி குறைந்தது அதன் தட்டை எனவும் கொள்ளப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக 256 அதிர்வெண்ணை மூலச்சுரமாகக் கொண்டு ஒரு டயடானிக் அளவீடு எடுத்துக் கொண்டால்



பாடும் இசை அறிஞர் (256) *C* சுரம் தன்னுடைய குரலுக்கு ஏற்றதில்லை, குறைந்தது என்று நினைத்தால் அவருக்கு தேவையான அடுத்த சுரம் *D* (283) ஆகும். இதன்படி டயடானிக் அளவீட்டில்



C சுர அளவீட்டிலுள்ள அதிர்வெண்களை இத்துடன் ஒப்பு நோக்கினால் 288 தவிர மற்ற எல்லா அதிர்வெண்களுடைய சுரங்களும் சேர்த்துக்கொள்ளப்பட வேண்டும். இதேபோல் மற்ற மூலச்சுரங்களுக்கும் தனித்தனி புதிய சுரங்களைச் சேர்த்துக் கொள்ள வேண்டியிருக்கும். இதன்படி ஒரு எண்மத்தில் 11 புதிய சுரங்கள் சேர்க்கப்பட வேண்டியிருக்கும். மொத்தத்தில் 19 சுரங்கள் இருக்கும். இன்றைய இசை உலகில் இன்னும் சில சுரங்கள் இனிமையைக் கருதி சேர்க்கப்படுகின்றன. எனவே டயடானிக் அளவீடுபடி மிக அதிகமான சுரங்கள் பயன்படுகின்றன. ஆனால்

ஒரு குறிப்பிட்ட மூலச்சுரத்திற்காக இசைக்கருவிகளை இசைவு செய்துவிட்டால் பின் மாற்றுவது கடினம். மற்ற சுரங்களுக்கு மாற்றுவது என்பது இயலாது போகிறது. எனவே இவை எல்லாவற்றையும் ஒத்திருக்கும்படி ஒரு புதிய அளவீடு தோற்றுவிக்கப்பட்டது. இதற்கு சமசுதி அளவீடு (Temperament scale) எனப் பெயர்.

10·10. சமசுதி அளவீடு (Temperament Scale)

ஒரு எண்மத்தில் 11 வேறு சுரங்களைச் சேர்க்க வேண்டி இருப்பதாகக் கண்டோம். இவை *C*-யை மூலச்சுரமாகக் கொண்டவை. இவற்றின் அதிர்வெண்களைக் கணக்கிட்டால் அவை ஆறு பிரிவுகளாகக் கிடைக்கும். *C*, *D*க்கு இடையே மூன்று சுரங்களும் *D*, *E*க்கு இடையே ஒரு சுரமும் *E*, *F*க்கு இடையே ஒரு சுரமும் *F*, *G*க்கு இடையே இரண்டு சுரங்களும் *G*, *A*க்கு இடையே ஒரு சுரமும் *A*, *B*க்கு இடையே மூன்று சுரங்களும் ஆக 11 கிளைச் சுரங்கள் கிடைக்கும். *E*, *F*க்கு இடையே உள்ள கிளைச்சுரத்தின் அதிர்வு எண் *E*-ன் அதிர்வு எண்ணுக்கு ஏறத்தாழ சமமாக இருக்கும். அதனால் அதைவிட்டு விட்டால் மற்ற ஐந்து பிரிவுகளும் ஒரே ஒரு நடுத்தர சுரத்தால் குறிக்கப்படலாம். இந்த ஒரு நடுத்தரச் சுரம் (Intermediate note) மற்ற ஐந்து சுரங்களையும் தரும். இது டயடானிக் அளவீட்டில் இருக்கும் நிலையைப் பொருத்து *C* கூர்மை (C Sharp) எனப்பட்டது. இது $C^{\#}$ எனக் குறிக்கப்படும். இதேபோல் $D^{\#}$, $F^{\#}$, $G^{\#}$, $A^{\#}$ எனப்படும். அவற்றின் அதிர்வு எண்தகவு *C* (256) அளவீட்டில்

$C^{\#}$	$D^{\#}$	$F^{\#}$	$G^{\#}$	$A^{\#}$
266·7	300	355·5	400	444·4

இந்தச் சுரங்கள் பியானோ அல்லது ஹார்மோனியத்தில் கருப்புக் கட்டையில் குறிக்கப்பட்டிருக்கும். ஒரு சுரத்திலிருந்து அதன் கூர்மைச் சுரத்தைப்பெற $\frac{25}{24}$—ஆல் பெருக்க வேண்டும். அதே சுரத்தின் தட்டை (Flat) கிடைக்க வேண்டுமானால் $\frac{24}{25}$ - ஆல் பெருக்க வேண்டும். இந்த $\frac{25}{24}$ தகவுக்கு குரோமேடிக் செமி டோன் (Chromatic Semi Tone) எனப் பெயர். இந்த ஐந்து புதிய சுரங்களைச் சேர்த்தால் மொத்தம் பன்னிரெண்டு சுரங்கள் கிடைக்கும். எனவே *C*-ஐ மூலச்சுரமாகக்கொண்ட அளவீட்டில் எந்தச் சுரத்தையும் எழுப்பு முடியும். இதனால் ஒரு எண்மம் 12 இடைவெளிகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது. இவை இசை எழுப்புவதற்கு

வசதியாக இருந்தாலும் அளவீடுகளில் இடைவெளிகள் சற்று மாறுபட்டிருக்கும். இதைத்தான் 'குரோமேடிக் ஸ்கேல்' (Chromatic Scale) என்கிறோம். இதில் ஒரு சுரத்திற்கு அதன் கூர்மையும் தட்டையும் முன்னும் பின்னுமாக இருக்கும். இந்த சுரங்களின் இடைவெளிகள் சமமாக இல்லாததால் சுரங்களை எழுப்புவது சற்று கடினமாக இருக்கலாம். இதனால் இந்த ஒரு எண்மம் 12 சம அளவு இடைவெளிகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது. இதுதான் சம சுதி அளவீடு (Equal Temperamant) ஆகும். இது சமசுதி அமைப்பு எனவும் சொல்லப்படும்.

ஒரு எண்மத்திலுள்ள ஒத்திசை சுரங்களின் ஏறுவரிசையில் உள்ளவை, டயடானிக் அளவீடு படி

C D E F G A B C[1]

இவற்றின் அதிர்வெண்கள் மூலச்சுரத்தைப் பொருத்து அமையும். ஒன்றுக்கொன்று இடையே உள்ள விகிதம் இடைவெளி (Interval) எனப்படும். இந்த இடைவெளியைப் பொருத்து அதிர்வு எண்கள் அமைவதை முன்பு கண்டோம். எந்த அதிர்வெண்களாக இருந்தாலும் இந்த சுரங்களுக்கு உள்ள பெயர்கள் Doh, Ray, Me, Fah, Soh, Lah, Te & Doh' இது சோல்பா (Solfa) முறை எனப்படும். இந்தத் தொடர் மேல்நாட்டு இசையில் உள்ளது. இந்த இசை இடை வெளிகளில் முன்பு கூறப்பட்டவைபோல் அதிர்வெண்களின் தகவு அமையும். அதிர்வெண்களில் தகவு

$$1, \quad \frac{9}{8}, \quad \frac{6}{5}, \quad \frac{4}{3}, \quad \frac{3}{2}, \quad \frac{8}{5}, \quad \frac{9}{5}, \quad 2.$$

இந்திய இசையில் ஏழு சுரங்கள் உள்ளன. அவை,

ச ரி க ம ப த நி ச'

என்ற வரிசையில் கூறப்படுகின்றன. ச'-என்பது ச-என்பதின் எண்மமாகும். இவை சோல்பா முறையின் Doh, Ray,......ஆகியவற்றை ஒத்தவை. இந்த எழுத்துக்கள் சட்ஜம், காந்தாரம், மத்யமம், பஞ்சமம், தைவதம், நிஷாதம் ஆகியவற்றைக் குறிக்கின்றன. இவைகளில் ச, ப இரண்டும் 1, $\frac{3}{2}$ இடைவெளியில் உள்ளன. இந்த இடைவெளியில் ஒத்திசைவு மிகுந்திருக்கும். இவைகளுக்கு கிளைச் சுரங்கள் கிடையா. இவை பிரக்ருதி (Prakruti) சுரங்கள் எனப்படும். மற்றவை ஐந்தும் விக்ருதி (Vikruti) சுரங்கள் எனப்படும். விக்ருதி சுரங்களுக்குக் கிளைச்சுரங்கள் உண்டு. விக்ருதி சுரங்கள் ஐந்திற்கும் உள்ள கிளைச்சுரங்கள் ஐந்து ஆகும். ஆக மொத்தம் பன்னிரெண்டு சுரங்கள் உள்ளன. இவற்றின் அட்டவணை கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

எண்	தமிழ் இசையில் குறியீடு	சுரத்தின் பெயர்	மேல் நாட்டு இசையில் குறியீடு
1	ச	சட்ஜம்	C
2	ரி	சுத்த ரிஷபம்	D Flat
3	ரி	ச்சதுஸ்ருதி ரிஷபம் (சுத்த காந்தாரம்)	D
4	க	ஷட்ஸ்ருதி ரிஷபம் (சாதாரண காந்தாரம்)	E Flat
5	க	சுந்தர காந்தாரம்	E
6	ம	சுத்த மத்யமம்	F
7	ம	பிரதி மத்யமம்	F Sharp
8	ப	பஞ்சமம்	G
9	த	சுத்த தைவதம்	A Flat
10	த	ச்சதுஸ்ருதி தைவதம் சுத்த நிஷதம்	A
11	த	ஷட்ஸ்ருதி தைவதம் கைஸிகி நிஷாதம்	A Sharp
12	நி	ககாலி நிஷாதம்.	B.

இந்த பன்னிரெண்டு சுரங்களும் ஒரு எண்மத்திலுள்ளவை. இவைகளின் சில குறிப்பிட்ட சுரங்களை எடுத்துக் கொண்டு அவற்றின் கூட்டுகளைத் (Combinations) தோற்றுவிக்கலாம். எடுத்துக் காட்டாக, (1), (8) உடன் (6) அல்லது (7)ஐச் சேர்த்து மூன்று சுரங்களையும் மீதமுள்ள சுரங்களில் (2), (3), (4), (5)-யும் (9), (10), (11), (12)-ல் ஏதாவது இரண்டையும் எடுத்துக் கொண்டு 72 வகையான இசை அலகுகளை அமைக்க முடியும். இவற்றிற்கு மூல அலகுகள் (Parent) என்று பெயர். இவற்றிற்கு மேளகர்த்தா ராகங்கள் எனவும் பெயர்.

12 கர்நாடக இசை அலகுகளில் 1, 3, 5, 6, 8, 10, 12, சுரங்களைச் சேர்த்தால் ஆங்கிலத்தில் C, D, E, F, G, A, B என வரும். தமிழில் ச, ரி, க, ம, ப, த, நி என்றும் வரும். முதலில் உள்ள ஆங்கில சுரவரிசை டயடானிக் அளவீட்டில் உள்ளது. இரண்டாவது தமிழில் உள்ளது. கர்நாடக இசையில் 'சங்கரா பரணம்' எனப்படும். இந்திய இசையில் சுரங்களுடன் கமகங்களையும் சேர்த்து வழங்குவது வழக்கம்.

சமசுதி அளவீட்டில் x.என்பது இடைவெளி (Interval) என்றால் x-ஐ அதே x-ஆல் பன்னிரெண்டு முறை பெருக்கினால் இரண்டு வரும்.

$$x.x\,x\ldots\ldots\ldots(12 \text{ முறை}) = 2$$

$$x^{12} = 2$$

$$x = 2^{\frac{1}{12}}$$

$$= 1{\cdot}0595$$

இந்த இடைவெளியைக் கொண்டு சமசுதி அளவீட்டில் சுரங்களைக் குறித்தால்,

C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C¹
1	$2^{\frac{1}{12}}$	$2^{\frac{2}{12}}$	$2^{\frac{3}{12}}$	$2^{\frac{4}{12}}$	$2^{\frac{5}{12}}$	$2^{\frac{6}{12}}$	$2^{\frac{7}{12}}$	$2^{\frac{8}{12}}$	$2^{\frac{9}{12}}$	$2^{\frac{10}{12}}$	$2^{\frac{11}{12}}$	$2^{\frac{12}{12}}$
1·	1·059	1·122	1·189	1·260	1·335	1·414	1·493	1·587	1·682	1·782	1·888	2·

சமசுதி அளவீட்டில் முதன்மை சுரங்களின் தகவு (Ratio of Chief notes)

C	D	E	F	G	A	B	C¹
1	$2^{\frac{2}{12}}$	$2^{\frac{4}{12}}$	$2^{\frac{5}{12}}$	$2^{\frac{7}{12}}$	$2^{\frac{9}{12}}$	$2^{\frac{11}{12}}$	2
1	1·122	1·260	1·335	1·493	1·682	1·888	2

$2^{\frac{2}{12}} = 2^{\frac{1}{6}}$ என்ற இடைவெளி ஏறத்தாழ ஒரு சுருதிக்குச் சமமாக இருப்பதால் இந்த சமசுதி அளவீட்டில் முதன்மைச் சுரங்கள் டயடானிக் அளவீட்டைப் போல் உள்ளன. இவை அரைச் சுருதியைப்போல் இருபங்கும் ஒவ்வொன்றும் சமமாகவும் இருக்கின்றன.

டயடானிக் அளவீட்டையும், சமசுதி அளவீட்டில் உள்ள முதன்மையான சுரங்களையும் (Chief notes), ஒப்பிட்டுப் பார்த்தால் அவை ஏறத்தாழ ஒன்றாக இருப்பதைக் காணலாம். அவை 1% கூட மாறுவதில்லை. எடுத்துக் காட்டாக, நான்காவது (Fourth), ஐந்தாவது (Fifth) இடையே உள்ள வேறுபாடு $\frac{1}{5}$%க்கு உள்ளேதான் இருக்கிறது.

எனவே சமசுதி அமைப்பில் உள்ள நன்மை நன்கு தெரிகிறது. இனிமையையும் ஒத்திசைவையும் பாதிக்காமல் இசை அறிஞர் ஒரு மூலச்சுரத்திலிருந்து (Key note) மற்றொரு மூலச்சுரத்திற்கு எளிதாகச் செல்ல மிகுந்த வாய்ப்புகள் உண்டு. எடுத்துக் காட்டாக ஒருவர் *D*-ஐ மூலச்சுரமாகக் கொண்டால் இந்த அளவீட்டில் முதன்மைச் சுரங்களாவன

D	E	$F^{\#}$	G	A	B	$C^{\#}$	D
$2^{\frac{2}{12}}$	$2^{\frac{4}{12}}$	$2^{\frac{6}{12}}$	$2^{\frac{7}{12}}$	$2^{\frac{9}{12}}$	$2^{\frac{11}{12}}$	$2^{\frac{13}{12}}$	$2^{\frac{14}{12}}$

அடுத்தடுத்துள்ள இரு சுரங்களுக்கு இடையே உள்ள தகவு, *C*-ஐ மூலச்சுரமாகக் கொண்ட அளவீட்டில் உள்ள தகவுக்கு சமமாகவே உள்ளது.

இன்றைய நாளில் வழக்கத்திலுள்ள எல்லா இசைக்கருவி களும் ஒரு எண்மத்தில் 12 சம இடைவெளிகளைத்தான் பயன் படுத்துகின்றன.

எடுத்துக் காட்டுகள்

1. சமசுதி அமைப்பில் நான்காவது $\left[\text{Fourth}\left(2^{\frac{5}{12}}\right)\right]$, பெரிய மூன்றாவது $\left[\text{Major third}\left(2^{\frac{4}{12}}\right)\right]$ ஆகியவை, உண்மை யான நான்காவது [True fourth $(\frac{4}{3})$] பெரிய மூன்றாவது [Major third $(\frac{5}{4})$] ஆகியவற்றைவிட, முறையே $\frac{1}{11}$, $\frac{7}{11}$ கோமா அளவு கூர்மையானது (Sharp) எனக் காண்பி.

இசைச்சுர அளவீட்டின்படி,

$$\log\frac{x}{y} = \frac{1}{11}\log\left(\frac{81}{80}\right)$$

இங்கு $x = 2^{\frac{5}{12}}, y = \frac{4}{3}$.

$$\therefore \log \frac{2^{\frac{5}{12}}}{\frac{4}{3}} = \log 2^{\frac{5}{12}} - \log \tfrac{4}{3}$$

$$= \tfrac{5}{12} \log 2 - \log \tfrac{4}{3}$$

$$= 0.1254 - 0.1249$$

$$= 0.0005 \qquad \ldots\ldots (1)$$

$$\frac{1}{11} \log \left(\frac{81}{80}\right) = \frac{1}{11} \times .00054$$

$$= 0.0005 \text{ (ஏறத்தாழ)} \qquad \ldots\ldots (2)$$

எனவே $\log \left(\frac{2^{\frac{5}{12}}}{\frac{4}{3}}\right) = \log \left(\frac{81}{80}\right)^{\frac{1}{11}}$

$$\left(\frac{2^{\frac{5}{12}}}{\frac{4}{3}}\right) = \left(\frac{81}{80}\right)^{\frac{1}{11}}$$

இதேபோல், $\log \left(\frac{2^{\frac{4}{12}}}{\frac{5}{4}}\right) = \frac{4}{12} \log 2 - \log \frac{5}{4}$

$$= 0.1003 - 0.0969$$

$$= 0.0034$$

$$\log \left(\frac{81}{80}\right)^{\frac{7}{11}} = \frac{7}{11} \times 0.0054$$

$$= 0.0034$$

எனவே $\log \left(\frac{2^{\frac{4}{12}}}{\frac{5}{4}}\right) = \log \left(\frac{81}{80}\right)^{\frac{7}{11}}$

$$\frac{2^{\frac{4}{12}}}{\frac{5}{4}} = \left(\frac{81}{82}\right)^{\frac{7}{11}}$$

10·11. பல்வேறு இசைச்சுர அளவீடுகளின் ஒப்பீடு

அளவீடு	C	C# or Db	D	D# or Eb	E	F	F# or Gb	G	G# or Ab	A	A# or Bb	B	C′
சமசுதி அமைப்பு	1	$2^{\frac{1}{12}}$	$2^{\frac{2}{12}}$	$2^{\frac{3}{12}}$	$2^{\frac{4}{12}}$	$2^{\frac{5}{12}}$	$2^{\frac{6}{12}}$	$2^{\frac{7}{12}}$	$2^{\frac{8}{12}}$	$2^{\frac{9}{12}}$	$2^{\frac{10}{12}}$	$2^{\frac{11}{12}}$	2
	1·000	1·059	1·122	1·189	1·260	1·335	1·414	1·498	1·587	1·682	1·782	1·888	2
	2	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
	256	271·2	287·3	304·4	320·5	341·7	362	383·6	406·4	430·5	456·1	483·3	512
டயடானிக்	1		$\frac{9}{8}$		$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$		$\frac{3}{2}$		$\frac{5}{3}$		$\frac{15}{8}$	2
	1		1·125		1·250	1·333		1·500		1·667		1·875	2
	0		204		386	498		702		884		1088	1200
மிடில் C	256		288		320	341·3		384		426·6		480	512
	264		297		330	352		396		440		495	528
குரோமேடிக்	256	266·7 276·5	288	300 307·2	320	341·3	355·5 368·6	384	400 409·5	426·6	444·4 460·8	480	512
சராசரி சுதி அமைப்பு	1		1·118		1·250	1·337		1·497		1·673		1·869	2
	0		193		386	503		697		890		1083	1200
	256		286·2		320	342·2		383·2		428·3		478·4	512

வினாக்கள்

1. ஒத்திசை, ஒவ்வாஇசை என்பன யாவை? ஒரே நேரத்தில் ஒலிக்கும்போது ஒவ்வா இசையைத் தோற்றுவிக்கும் இரு அதிர்வெண்ணுடைய சுரங்களின் தொடர்பைக் கண்டுபிடி.

2. ஹெல்ம்ஹோல்ட்சின் ஒத்திசைக் கொள்கையை விளக்கி எழுது. ஏறத்தாழ ஒரு எண்ம இடைவெளியுள்ள இரு இசைக் கவைகள் ஒலிக்கும்போது விம்மல்கள் தோன்றுகின்றன. காரணத்தை விளக்கு.

3. ஒரு எண்மம் (2:1), ஒரு ஐந்தாவது (3:2), ஒரு நான்காவது (4:3) ஆகியவற்றின் ஒத்திசையை ஒப்பிடு. ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸின் ஒத்திசை, ஒவ்வா இசைக் கொள்கையை விவரித்து எழுதுக.

4. 'ஒத்திசை', 'ஒவ்வாஇசை' இவற்றை விளக்கி எழுது. இருவேறு அதிர்வு எண்களுக்கிடையே ஒத்திசை, ஒவ்வா இசை தோன்றத் தேவையான தகுதிகளை விளக்குக.

5. இரு சுரங்களுக்கு இடையேயுள்ள 'இசை இடைவெளி' என்றால் நீ அறிவது என்ன? டயடானிக் அளவீட்டில் பயன்படுத்தப் படும் இடைவெளிகள் யாவை?

6. டயடானிக் அளவீடு என்றால் என்ன? அதன் இசை அடிப் படையை விளக்கு. ஹார்மோனியத்தில் உள்ள இசை அளவீட் டிற்கும் இதற்கும் என்ன வேறுபாடு?

7. சமசுதி அமைப்பு அல்லது அளவீடு என்றால் என்ன? அது டயடானிக் அளவீட்டிலிருந்து எவ்வாறு மாறுபடுகிறது?

8. இசைச்சுர அளவீடுகளைப் பற்றி ஒரு கட்டுரை வரைக. டயடானிக் அளவீட்டுக்கும் சமசுதி அளவீட்டுக்குமுள்ள வேறுபாட்டை நன்கு விளக்கவும்.

9. இசை இடைவெளி என்றால் என்ன? சமநீளமும், சம விட்டமும் உடைய இரு எஃகுக் கம்பிகள் 2 கிலோ கிராம் 4.5 கிலோகிராம் இழு விசையில் இருக்கின்றன. அவற்றிடையே இசை இடைவெளி என்ன?

10. சமசுதி அளவீடு என்றால் என்ன? அதை டயடானிக் அளவீட்டுடன் ஒப்பிடும்போது உள்ள நன்மை தீமைகள் யாவை?

11. C-சுரத்தின் அதிர்வெண் 264 எனக் கொண்டால் F-சுரத்தின் அதிர்வெண்ணை (a) டயடானிக் அளவீட்டிலும் (b) சமசுதி அளவீட்டிலும் கண்டுபிடி.

12. ஒரு இசைக் கருவியில் C-சுரத்தின் அதிர்வெண் 256. A சுரம், A கூர்மை, A தட்டை ஆகியவற்றின் அதிர்வெண்களை சமசுதி அளவீட்டில் கண்டுபிடி.

11. காற்றுத்தம்பங்களின் அதிர்வு
(Vibration of air column)

11·1. துளை இசைக்குழல் (Flue Pipe)

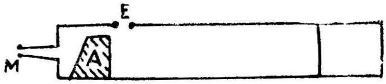
நாதசுரம், ஆர்மோனியம் போன்ற காற்று இசைக்கருவிகளில் (Wind Instruments) ஒரு நீண்ட காற்றுத்தம்பம் இருக்கும். இதற்கு ஒத்ததிர்வி (Resonator) என்று பெயர். இந்தக்காற்றுத்தம்பங்களில் அதிர்வு, நெட்டலை வகையைச் சேர்ந்ததாகவும், அதன் அதிர்வு எண், காற்றுத்தம்பத்தின் இயல்பு அதிர்வெண்ணுக்கு ஒத்தும் இருக்கும். ஆகவே இந்த காற்றுத்தம்பங்களைப் பற்றி படிப்பது மிக முக்கியம். இப்படிப்பட்ட இசைக்கருவிகளில் வாயருகே (நறுக்கு) சீவாளி (Reed) போன்ற அமைப்பு உள்ளது. இதன் அமைப்பு கருவிக்குக்கருவி மாறும். இதைப் பயன்படுத்தி காற்றுத்தம்பத்தை இசைக்கருவிகளில் அதிர்வடைய வைக்கிறோம்.

துளை இசைக் குழல்களில் ஒரு காற்றின் ஜெட் அல்லது தகடு போன்ற மெல்லிய காற்றுத்தகடு (Sheet of Air) தோற்றுவிக்கப் படுகிறது. இது குழல் உதடு (Lip of the Pipe) என்று கூறப்பட்ட ஒரு கூரிய முனைமீது (Sharp edge) வேகமாக மோதுகிறது. இதனால் காற்றுத்தம்பம் அதிர்வு நிலையை அடைகிறது. இதற்குத்தான் துளை இசைத்தல் (flue) எனப்பெயர். துளை இசைக்குழல்களில் இரண்டு வகையுண்டு. ஒருபக்கம் மூடிய நீண்ட நீள் உருளை வடிவமான குழல் ஒருவகை. மற்றது இருபக்கமும் திறந்திருக்கும். முதல்வகை மூடிய முனைக்குழல் (closed end pipe) எனவும் மற்றது திறந்த முனைக்குழல் (Open end pipe) எனவும் சொல்லப்படும்.

11·2. மூடிய முனைக்குழலில் ஒலி அலை எதிரொலித்தல்

மூடிய முனைக்குழல் உலோகத்தாலோ அல்லது மரத்தாலோ செய்யப்பட்ட ஒரு நீண்ட குழல். இதன் வடிவம் உருளையாகவோ, நீள்சதுரமாகவோ இருக்கும். இதன் ஒருமுனை நன்கு மூடப்

பட்டிருக்கும். இது ஒரு உறுதியான அடைப்பாகச் செயல்படும். மற்றொரு முனையில் (படம் 68) *M* என்ற வாயருகு பகுதி (Mouth piece) உள்ளது. அதன் வழியேதான் காற்று உள்ளே ஊதப்படுகிறது. *M* அருகே *A* என்ற ஒரு திடப்பொருள் பொருத்தப்

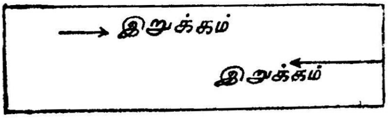


படம் 68

பட்டிருக்கிறது. ஊதப்பட்ட காற்று ஒரு குறுகிய திறப்பு வழியே செல்லும்படி இது செய்கிறது, இதை அடுத்து *E* என்ற முனை (edge) உள்ளது. இதன் மேல் ஜெட்போல் வரும் காற்று மோதும்போது *E* முனை அதிருகிறது. *E* முனையின் அதிர்வு அடுத்துள்ள காற்றுத் தம்பத்திற்குத் தாவி அதுவும் அதே அதிர்வு எண்ணோடு அதிரத் தொடங்குகிறது. இவை நெட்டலை அதிர்வு வகையைச்சேர்ந்தவை. ஆகவே இறுக்கமும் அடர்குறைப்பும் (Compression and rarifaction) இந்த முனையிலிருந்து மறுமுனை நோக்கி விரைகின்றன.

இந்த அலைகள் மூடிய முனையில் எதிரொலிக்கப்பட்டு திரும்பி வருகின்றன.

மூடியமுனை உறுதியாக இருப்பதால் ஒரு இறுக்கம் இறுக்கமாகவே எதிரொலிக்கப்படுகிறது. அல்லது ஒரு விரிவு (rarifaction) சென்றால் அது விரிவாகவே எதிரொலிக்கப்படுகிறது. (படம் 69)



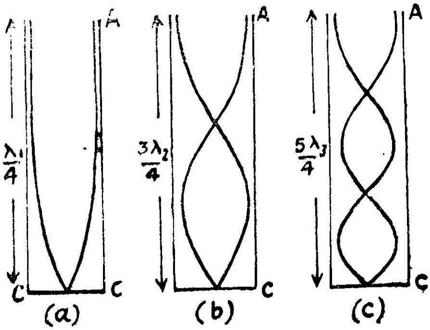
படம் 69

திரும்பி வரும் அலையும் முன்னேறும் அலையும் ஒன்றின் மீதொன்று பொருந்தி நிலையான அலைகளை காற்றுத் தம்பத்தில் தோற்றுவிக்கின்றன. மூடியமுனை ஒரு கணுவாக (அதிர்வற்ற இடமாக) செயல்படுகிறது. காற்றுத் தம்பத்தின் அதிர்வெண் அதன் நீளத்தை பொறுத்து அமையும். திறந்த முனை எதிர்க்கணுவாக அமையும்.

11·3. மூடிய குழலில் காற்றுத்தம்பத்தின் அதிர்வெண்

ஒரு முனை மூடப்பட்டதும் மறுமுனை திறந்ததுமான ஒரு குழலை *A C* எடுத்துக் கொள்வோம். இதன் நீளம் *l* செ.மீ. எனக் கொள்

வோம். அதனுள் காற்றை ஊதினுல் மூடிய முனையில் கணுவும், திறந்த முனையில் எதிர்க்கணுவும் கொண்ட ஒரு நிலையான அலை தோன்றும். இந்த நிலையான அலைகள் பல்வகையில் (Modes) தோன்றலாம். ஆகவே குழல் அதன் அடிப்படை அதிர்வு எண்ணிலோ (Fundamental) அல்லது மேல் சுரங்களிலோ (Over tones) ஒலியை எழுப்பும். இது உள்ளே ஊதப்படும் காற்றின் அழுக்கத்தையும் அதன் வேகத்தையும் பொறுத்திருக்கிறது. வெவ்வேறு அதிர்வு வகைகள் (Modes of Vibration) படத்தில் காண்பிக்கப் பட்டிருக்கின்றன. (படம் 70)



படம் 70

காற்றுத் தம்பம் அடிப்படைச் சுரத்தில் அதிரும்போது அதன் மூடிய முனையில் கணுவும், திறந்த முனையில் எதிர்க் கணுவும் அமைகின்றன. படம் 70 (*a*). ஆகவே அதன் அலை நீளத்தை (λ-வை) கீழ்க்காணும் சமன்பாட்டால் காணலாம். ஒரு கணுவுக்கும் எதிர்க் கணுவுக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு $\frac{\lambda}{4}$ ஆகையால்

$$\frac{\lambda_1}{4} = l \quad [l\text{-என்பது குழலின் நீளம்}]$$

$$\lambda_1 = 4l$$

அடுத்து தோன்றும் அதிர்வுவகையில் படம் (*b*) குழலின் நீளம் 3 சமபகுதிகளாகப் பிரிக்கப்படும். குழலின் உட்பகுதியில் ஒரு கணுவும், எதிர்க்கணுவும் அமையுமாறு நிலையான அலைகள் தோன்றும். இப்போது λ_2 என்பது அலைநீளமானுல்

$$\frac{3\lambda_2}{4} = l$$

$$\lambda_2 = \frac{4l}{3}$$

இதேபோல் அடுத்த அதிர்வுவகைக்கு படம்... (c)

$$\lambda_3 = \frac{4l}{5}$$

மற்றவகைகளுக்கும் இதேபோன்று அலைநீளம் காணலாம். பொதுவாக அதிரும் காற்றுத் தம்பத்தின் அலைநீளங்கள் கீழ்க் கண்ட சமன்பாடு கொண்டு பெறலாம்.

$$\lambda_m = \frac{4l}{(2m-1)}$$ [2m -1 என்பது ஒரு ஒற்றைப்படை எண்]

$$m = 1, 2, 3, 4, 5, \ldots\ldots\ldots\ldots$$

ஆகவே குழல் எழுப்பும் ஒலிகளின் அதிர்வெண்கள்

$$n_m = \frac{v}{\lambda_m}$$

$$n_m = (2m-1)\frac{v}{4l}$$

v-என்பது காற்றில் (குழலின் உள்ளே) ஒலி வேகத்தைக் குறிக்கும்.

$m = 1, 2. 3, 4, 5, \ldots\ldots\ldots$ ஆகிய மதிப்பைக் கொடுத்தால்

$$n_1 = \frac{v}{4l}, \quad n_2 = \frac{3v}{4l}, \quad n_3 = \frac{5v}{4l}, \ldots\ldots$$

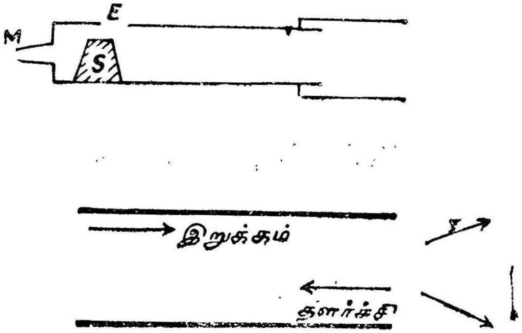
ஆகவே $n_1 : n_2 : n_3 : \ldots\ldots\ldots = 1 : 3 : 5 : \ldots\ldots\ldots\ldots$

எனவே ஒரு முனை மூடியுள்ள குழல் எழுப்பும் சுரங்களின் அதிர்வு எண்கள் ஒற்றைப்படை அடுக்கு வரிசையில் இருக்கும். (Odd Harmonics).

11·4. திறந்தமுனைக் குழல் (Open End Pipe)

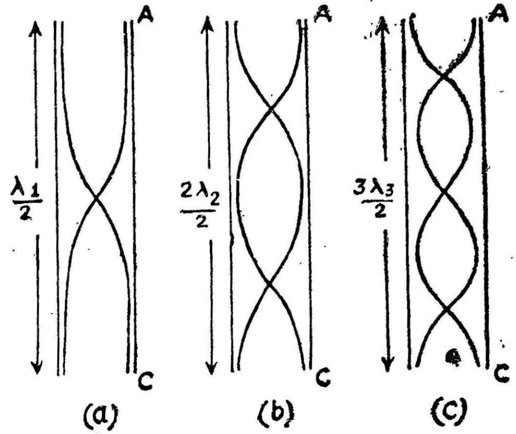
படம் 71 திறந்தமுனைக் குழல் ஒன்றைக் காட்டுகிறது. இது இரு முனைகளிலும் திறந்திருக்கிறது. *M* என்ற வாயருகு பகுதி வழியே காற்று குழலுக்குள் ஊதப்படுகிறது. *S*-என்ற திடப் பொருள் காற்றை குறுகிய திறப்புவழியே செலுத்துகிறது. மிகுந்த அமுக்கத்துடன் வரும் காற்று *E* என்ற கூரிய முனையில் (Sharp edge) மோதி அதை அதிரச் செய்கிறது. இந்த அதிரும் முனை குழலின் உள்ளே உள்ள காற்றில் இறுக்கமும் அடர்குறைப்பும் (அல்லது தளர்ச்சி) தோன்றுமாறு அதை அதிர்வடைய வைக்கிறது. இந்த இறுக்கம் அல்லது தளர்ச்சி திறந்தமுனை நோக்கி விரைகிறது. திறந்தமுனையில் பெருக்கத்திற்கு ஒரு தடைமாற்றம் இருப்பதால்

(Change of resistance to expansion) திறந்த முனையில் ஒலி அலை எதிரொலிக்கப்படுகிறது. திறந்த முனையில் இறுக்கம் எதிரொலிக்கப்படும்போது தளர்ச்சியாகவும், தளர்ச்சி எதிரொலிக்கப்படும்போதும் தளர்ச்சியாகவும் மாறுகிறது. ஆகவே இறுக்கம் தளர்ச்சியாகவும், தளர்ச்சி தளர்ச்சியாகவும் எதிரொலிக்கப்படும்.



படம் 71

முன்னேறும் அலையும் எதிரொலிக்கப்படும் அலையும் ஒன்றுடன் ஒன்று பொருந்தி ஒரு நிலையான அலையைத் தோற்றுவிக்கும். குழலின் இரு திறந்த முனைகளும் எதிர்க்கணுவாக அமையும்.



படம் 72

குழலில் உள்ள காற்று வெவ்வேறு வகைகளில் அதிரமுடியும் (different modes of vibration). *A C* என்பது *l* செ.மீ. நீளமுடைய

ஒரு இரு முனையும் திறந்த குழல். இதனுள் இருக்கும் காற்று அதிரும் வகைகளைக் காண்போம்.

அடிப்படைச் சுரத்தில் காற்று அதிரும்போது, குழலின் இரு முனைகளிலும் எதிர்க் கணுக்களும், நடுப்புள்ளியில் கணுவும் தோன்றுகின்றன. படம் 72(a)

λ_1 என்பது அலை நீளமானால்,

$$\frac{\lambda_1}{2}=l$$

$$\lambda_1=2l$$

அடுத்த அதிர்வு வகையில், குழலுக்குள் இரு கணுக்களும் ஒரு எதிர்க்கணுவும் இருக்கும். படம் 72 (b)

λ_2 என்பது அலை நீளமானால்

$$\frac{2\lambda_2}{2}=l$$

$$\lambda_2=\frac{2l}{2}$$

இதேபோல் அடுத்த அதிர்வு வகையில்,

$$\lambda_3=\frac{2l}{3}$$

பொதுவாக அதிரும் அலைநீளங்களை கீழ்க்காணும் சமன்பாட்டால் பெறலாம்.

$$\lambda_m=\frac{2l}{m}$$

$$m=1,\ 2,\ 3,\ 4,\ \ldots\ldots\ldots$$

குழல் எழுப்பும் ஒலியின் (சுரங்களின்) அதிர்வு எண்கள்

$$n_m=\frac{v}{\lambda_m}$$ [v என்பது அலைவேகம்.]

$$=m\frac{v}{2l}$$

$m=1,\ 2,\ 3,\ 4,\ldots\ \ldots\ldots$ என்ற மதிப்புக்களைக் கொடுத்தால்

$$n_1=\frac{v}{2l},\quad n_2=\frac{2v}{2l},\quad n_3=\frac{3v}{3l},\ldots\ldots\ \ldots\ldots$$

எனவே இரு முனையும் திறந்த குழலின் அடிப்படைச் சுரம், மற்ற மேல் சுரங்களின் அதிர்வெண்கள் ஒரு முழு அடுக்கு வரிசையில் (Full Harmonics) இருக்கும்.

11·5. முனைத்திருத்தம் (End correction)

மேலே சொல்லப்பட்ட இரு வகைக் குழலிலும், திறந்த முனையில் எதிர்க்கணு அமைவதாகக் கொண்டோம். ஆனால் உண்மையில் இது சரியானதன்று. அலையின் இறுக்கம் (Compression) குழலின் திறந்த முனையை அடையும்போது அங்குள்ள காற்றுத் துகள்களை அது வேகமாக வெளியே தள்ளுகிறது. அத்துடன் தானும் குழலைவிட்டு சிறிய தொலைவு வெளியே நகர்ந்துவிடுகிறது. ஆகவே' எதிர்க்கணு உண்மையில் ஒலியின் வாய்பகுதியில் இல்லாமல் அதிலிருந்து சிறிய தொலைவில்தான் தோன்றுகிறது. நாம் குழாயில் காற்றுத் தம்பத்தின் நீளத்தை அளக்கும்போது வாய்பகுதியிலிருந்துதான் அளக்கமுடியும். வாய்பகுதிக்கும், உண்மையில் எதிர்க்கணு தோன்றும் இடத்திற்கும் இடைப்பட்ட தொலைவுதான் முனைத்திருத்தம் (End correction) என்று சொல்லப்படுகிறது.

இராலே (Rayleigh) என்பவர் பரிசோதனைகள் மூலம் இந்த முனைத்திருத்தம் குழலின் ஆரத்தைப் பொருத்து அமையும் எனக் கணக்கிட்டு கண்டுபிடித்துள்ளார். அவருடைய கணக்குப்படி R செ.மீ. ஆரமுடைய குழலின் முனைத்திருத்தம் $\cdot 62\ R$ செ.மீ. ஆகும். முனைத்திருத்தத்தை கீழ்க்காணும் முறையில் கணக்கிடலாம்.

முதல் ஒத்ததிர்வின் போது காற்றுத்தம்பத்தின் நீளம் l_1 எனவும், அடுத்த ஒத்ததிர்வின்போது நீளம் l_2 எனவும் கொள்வோம். (படம் 74) C என்பது முனைத்திருத்தம் ஆனால்

$$l_1 + c = \frac{\lambda}{4} \qquad \lambda \text{ என்பது அலைநீளம்}$$

$$l_2 + c = \frac{3\lambda}{4}$$

அல்லது $$3l_1 + 3c = \frac{3\lambda}{4}$$

$$l_2 + c = \frac{3\lambda}{4}$$

கழிக்க $$3l_1 - l_2 + 2c = 0$$

$$c = \frac{l_2 - 3l_1}{2}$$

இது ஏறத்தாழ ·58 R என இருப்பதாகக் காணப்பட்டது. திறந்த அல்லது மூடிய குழலைப் பயன்படுத்தி பரிசோதனைகள் செய்யும் போது இந்த முனைத்திருத்தத்தை செய்ய வேண்டும்.

11·6. சுரப்பண்பின் மீதும், மேல் சுரங்களின் மீதும் இந்த முனைத் திருத்தத்தால் தோன்றும் விளைவு

ஒரு மூடிய ஆர்கான் குழலுக்கு முனைத்திருத்தம் செய்யும்போது அதன் நீளம் $(l+c)$ ஆகிறது. எனவே முனைமூடிய குழலின் அதிர்வெண்

$$n = v \frac{(2m-1)}{4\ (l+c)}$$

இருமுனையும் திறந்த குழலுக்கு நீளம் $(l+2c)$ ஆகும். அதன் அதிர்வெண்

$$n = \frac{v.m}{2(l+2c)}$$

இதனால் இருவகை குழல்களிலும் அடிப்படை சுரத்தின் அதிர்வெண்ணும் அதன்மேல் சுரங்களின் அதிர்வெண்களும் சிறிது குறைக்கப்படும் என்று தெரிகிறது.

திறந்த குழல், ஒருமுனை மூடிய குழல் ஆகியவற்றின் அடிப்படை அதிர்வெண்களின் தகவு

$$\frac{n_1}{n_1^1} = \frac{(l+2c)}{2(l+c)}$$

எனவே n_1^1, n_1-ஐப் போல் இருமடங்கு இல்லை. திருத்தம் செய்யாதபோது $n_1^1 = 2n_1$ ஆக இருக்கும். மேலே சொன்ன திருத்தங்கள் குறுகிய நீள் உருளை குழல்களுக்குப் பொருந்தும். இங்கு குழலின் ஆரம் அலைநீளத்தோடு ஒப்பிடப்படும்போது சிறியதாக இருக்கிறது. குழல் அகலமாக இருந்தால் திருத்தம் குழலின் அகலத்தைப் பொறுத்து மாறுவதோடு, அலைநீளத்தைப் பொறுத்தும் மாறும். குழல்களில் முனைத்திருத்தம் மேல் சுரங்களின் அதிர்வெண்களைக் குறைக்கிறது எனக் கண்டோம். இதனால் மேல் சுரங்கள் அடுக்குச்சுரங்களாக அமையா.

முனைத்திருத்தம் சுரப்பண்பைக்கூட பாதிக்கும். ஒரு குறுகிய குழல் விரைவாக ஊதப்படும்போது அனுசுரங்களை தோற்றுவிக்கும். இவை அடுக்கு சுரங்களாக அமையும். குழலில் அதிர்வுகளைக் காண்பதற்கான ஆற்றல் ஊதப்படும் காற்றிலிருந்து எடுத்துக் கொள்ளப்படுவதால் காற்றுத்தம்பத்தில் அதிர்வு ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட வகையில் இருக்கும். இதனால் அடுக்குச் சுரங்கள் தோன்று

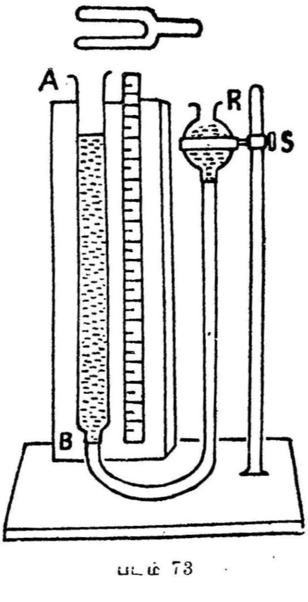
கின்றன. அடுக்குச்சுரங்கள் தோன்றும் நிலையில் தான் ஒலியின் வலிமை மிகுந்திருக்கும். எனவே குறுகிய குழல்களில் முனைத் திருத்தம் சுரப்பண்பை அவ்வளவாக பாதிக்காது.

அகலமான குழல்களில் தோன்றும் சுரங்கள் அடுக்கு சுரங்களி லிருந்து மாறுபட்டு இருக்கும். இதனால் அடுக்குச் சுரங்கள் தோன் றுவது மிக அரிதானது. எனவே சுரப்பண்பு மாறுபட்டிருக்கும்.

குறுகிய குழல்கள் இனிமைமிகுந்த அடுக்குச் சுரங்களைக் கொடுக்க, அகன்ற குழல்கள் இனிமை குறைந்த, அடுக்குச் சுரங் கள் அல்லாதவற்றைத் தரும். எனவேதான் துளையிசைக் கருவி கள் செய்ய குறுகிய குழல்கள் விரும்பப் படுகின்றன.

11·7. ஒத்ததிர்வுத்தம்பம் — பரிசோதனை (Resonance column experiment)

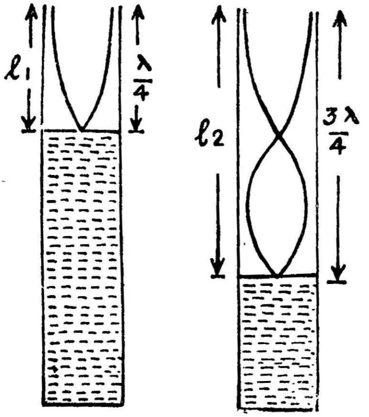
ஒத்ததிர்வுத்தம்பத்தைப் பயன்படுத்தி காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடலாம். இந்தக்காற்றுத்தம்பம் ஒத்ததிர்வை விளக்கவும் பயன்படுத்தப்படு கிறது. இதில் *AB* என்ற ஒருநீண்ட கண்ணாடிக்குழல் செங்குத்தாக ஒரு பலகையில் பொருத்தப்படுகி றது. இதன் கீழ்பகுதி ஒரு ரப்பர் குழாயின் வழியாக ஒரு நீர்த் தேக்கியுடன் (Water Reservoir) இணைக்கப்படுகிறது. நீர்த்தேக் கியை மேலும் கீழும் நகர்த்தி வேண்டிய இடத்தில் பொருத்திக் கொள்ளலாம். இதற்காக *S* என்ற திருகு கொடுக்கப்பட்டுள் ளது. கண்ணாடிக் குழலை ஒட்டி ஒரு மீட்டர் அளவுகோல் செங் குத்தாக உள்ளது. இதனைப் பயன்படுத்தி குழலினுள் உள்ள நீரின் மட்டத்தை அளக்கலாம்.



படம் 73

கண்ணாடிக் குழலுக்குள் நீர் நிரப்பப்படுகிறது. நீர்த்தேக் கியை உயர்த்தி அல்லது தாழ்த்தி நீரின் மட்டத்தை நமக்கு வேண்டிய அளவில் நிறுத்திக்கொள்ளலாம். குழலில் நீரின் மட்டம் ஒலி அலையை எதிரொலிக்கும் தளமாகச் செயல்படுகிறது.

ஒரு அதிர்வெண் தெரிந்த இசைக்கவை ரப்பர் சுத்தியால் தட்டப்பட்டு அதிர்வடையச் செய்யப்படுகிறது. கண்ணுடிக் குழலின் வாய்ப்பகுதியருகில் பிடித்தால் இசைக்கவையால் காற்றில் தோன்றும் நெட்டலைகள் கீழ்நோக்கி குழலினுள் செல் லும். இவை நீர்மட்டத்தில் எதிரொலிக்கப்பட்டு மேல் நோக்கி வரும். இசைக்கவையிலிருந்து செல்லும் ஒலி அலையும், நீர்மட் டத்தில் எதிரொலிக்கப்பட்டுத் திரும்பும் அலையும் ஒன்ருேடொன்று பொருந்தி ஒரு நிலையான அலையைத் தோற்றுவிக்கும். இப்போது நீர் மட்டத்துக்கு மேலே உள்ள காற்றுத்தம்பத்தில் ஒரு நிலையான அலை இயக்கம் (Stationary wave motion) தோன்றி இருக்கிறது. இதில் கணுக்களும், எதிர்க்கணுக்களும் இருக்கும். ஒரு எதிர்க்கணு வாய்ப்பகுதி அருகில் அமைந்தால் குழலிலிருந்து நாம் கேட்கும்படி ஒலி எழும்பும். நீர்த்தேக்கியை கீழே மெதுவாக இறக்கு கிருேம். இப்போது நீர்மட்டம் மெதுவாகக் கீழே இறங்கும். ஒரு நிலையில் நமக்குக் கேட்கும் ஒலியின் வலிமை மிகுந்தி ருக்கும். நீர்த்தேக்கியைத் துல்லியமாக சரிசெய்து மிகு ஒலி கேட்குமாறுசெய்யவேண்டும். இப்போது குழலின் வாய்ப்பகுதியில் ஒரு எதிர்க்கணு உள்ளது. வாய்ப்பகுதியிலிருந்து நீரின் மட்டம்



படம் 74

வரை உள்ள காற்றுத்தம்பத்தின் நீளம் l_1 அளவு கோலின் உதவி கொண்டு அளக்கப்படுகிறது. இப்போது அதிரும் காற்றுத்துகள் களின் அதிர்வெண் இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணுக்குச் சமமாக இருக்கும். காற்றுத்தம்பம் இசைக்கவையோடு ஒத்ததிர்கிறது. இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணின் மதிப்பைக்கொண்டு, காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடலாம். முதல் ஒத்ததிர்வு நீளத்தை அளந்தறிந்தபின் மீண்டும் அதிரும் இசைக்கவை குழலுக்கு மேலே

வாய்ப்பகுதி அருகில் பிடிக்கப்படுகிறது. அதேநேரத்தில் நீர் மட்டம், நீர்த்தேக்கியைப் பயன்படுத்தி கீழிறங்குமாறு செய்யப் படுகிறது. நீர்மட்டத்தின் மற்ெருரு நிலையில் மீண்டும் ஒத்ததிர்வு நிகழும். இப்போது மற்ெருரு எதிர்க்கணு வாய்ப்பகுதி அருகில் உள்ளது. (படம் 74) காற்றுத்தம்பத்தின் நீளம் l_2 அளவு கோலின் உதவிகொண்டு அளக்கப்படுகிறது. இது இரண்டாவது ஒத்ததிர்வு நீளம் எனப்படும்.

l_1 என்பது முதல் ஒத்ததிர்வு நீளமாஞல்,

$$l_1 = \frac{\lambda}{4}$$

அல்லது $\lambda = 4l_1$ ..... (1)

l_2 என்பது இரண்டாவது ஒத்ததிர்வு நீளமாஞல்,

$$l_2 = \frac{3\lambda}{4}$$

அல்லது $3\lambda = 4l_2$ ..... (2)

(2) லிருந்து (1) ஐ கழிக்க

$$2\lambda = 4(l_2 - l_1)$$

$$\lambda = 2(l_2 - l_1)$$

அலையின் வேகம் காற்றில் $v = n\lambda$.

n = இசைக்கவையின் அல்லது காற்றுத் தம்பத்தின் அதிர்வு எண்.

$$\therefore V = 2n(l_2 - l_1)$$

இந்தச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி காற்றில் ஒலியின் திசை வேகத்தைக் கணக்கிடலாம். சோதனைச் சாலையில் வெவ்வேறு அதிர்வெண்களுடைய இசைக்கவைகள் பயன்படுத்தப்பட்டு ஒலிவேகத்தின் சராசரி மதிப்பு கணக்கிடப்படுகிறது.

எண்	இசைக்கவையின் அதிர்வு எண்	முதல் ஒத்ததிர்வு நீளம் l_1	இரண்டாவது ஒத்ததிர்வின் நீளம் l_2	$V = 2n(l_2 - l_1)$

இது அறையின் வெப்பநிலையில் காற்றில் ஒலியின் திசைவேக மாகும். $0°C$-ல் ஒலியின் வேகம் தேவையென்றால்

$$V_o = V_t \sqrt{\frac{273}{273+t}}$$

என்ற சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி V_o-ஐக் கணக்கிடலாம்.

முனைத்திருத்தம்

குழலின் வாய் அருகில் எதிர்க்கணுக்கள் தோன்றும் போது அவை சரியாக வாய்ப் பகுதியில் தோன்றுவதில்லை. அதை விட்டு சற்று மேலேயே தோன்றுகின்றன. எனவே நாம் அளக்கும் ஒத்ததிர்வு நீளங்கள் உண்மையான ஒத்ததிர்வு நீளங்களை விடச் சற்று குறைவானவை. இந்த வேறுபாட்டிற்கான திருத்தத்தை முனைதிருத்தம் என்றோம்.

C-என்பது முனைத்திருத்தமெனக் கொண்டால்,

$$l_1+c = \frac{\lambda}{4} \qquad \ldots\ldots(3)$$

$$l_2+c = \frac{3\lambda}{4} \qquad \ldots\ldots(4)$$

$$(3)\times 3 = 3l_1+3C = \frac{3\lambda}{4}$$

$$l_2+C = \frac{3\lambda}{4}$$

எனவே $3l_1+3C = l_2+C$

அல்லது $l_2-3l_1 = 2C$

ஆகவே $C = \frac{l_2-3l_1}{2}$

எனவே, இந்த சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி முனைத்திருத்தத்தை யும் கணக்கிடலாம்.

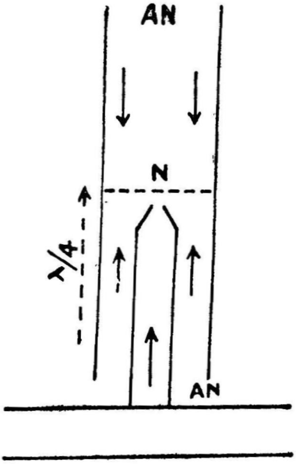
11·8. பாடும் சுடர் (Singing Flame)

இது ஒரு வெப்பம் காக்கும் (Heat maintained) அதிர்வு ஆகும். இதில் ஒரு காற்றுத் தம்பத்திற்கு அடுத்தடுத்து சீரான இடைவெளி களில் வெப்பம் கொடுக்கப்படுகிறது. காற்றுத் தம்பம் அதிர்

வடைந்துஒரு இசைச் சுரத்தைத் தோற்றுவிக்கும். 0.035 மீட்டர் விட்டமும், சுமார் 0.3 மீட்டர் நீளமும் உடைய இரு பக்கமும் திறந்த ஒரு குழல் மெதுவாக, ஒரு எரிவாயு (Combustible gas) வரும் ஜெட் குழல்மீது இறக்கப்படுகிறது. ஜெட் ஏறத்தாழ குழலின் நடுப்பகுதியில் இருக்கும்போது ஒரு இசைச் சுரம் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. இதற்குப் பாடும் சுடர் என்று பெயர். இதன் அதிர்வெண்

$n = \frac{v}{2l}$ [v-என்பது ஒலியின் வேகம்]

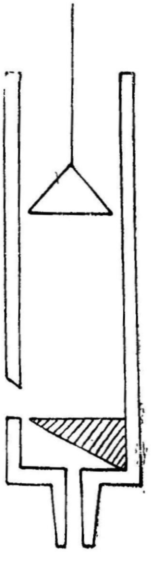
இங்கு குழலினுள் ஒரு நிலையான அலை தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. குழலின் இருமுனைகளும் எதிர்க்கணுக்களாகவும், சுடர் உள்ள இடம் கணுவாகவும் இருக்கும். வெப்ப ஆற்றலைக் கொண்டு இந்தக் காற்றுத் தம்பங்களில் அதிர்வுகள் தாக்கப்படுகின்றன.



படம் 75

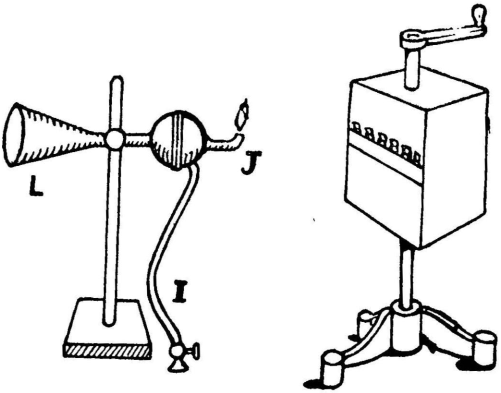
11·9. அதிரும் காற்றுத் தம்பங்களில் தோன்றும் கணுக்களையும் எதிர்க்கணுக்களையும் செயல் முறையில் விளக்கிக்காட்டல்

ஒரு திறந்த முனைக்குழல் படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல், (படம் 76) செங்குத்தாக வைக்கப்படுகிறது. ஒரு சிறிய காகிதத் தட்டில் உலர்ந்த பொடிமணல் வைக்கப்பட்டு குழலுக்குள் ஒருநூலின் உதவியால் மெதுவாக இறக்கப்படுகிறது. குழல் ஒலிக்கப்படும்போது உள்ளே கணுக்களும் எதிர்க் கணுக்களும் கொண்ட நிலையான அலைதோன்றும். காகிதத்தட்டு எதிர்க்கணுவில் இருக்கும்போது அதிலுள்ள மணல் குதிப்பதைக் காணலாம். கணுவில் மணல் குதிக்காமல் அசையாமல் இருக்கும். குழல் சற்று வேகமாக ஊதப்பட்டால் மேல் சுரங்கள் தோன்றி எதிர்க்கணுக்கள் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட இடங்களில் தோன்றும்.


படம் 76

11·10. கோனிக்கின் (Koenig) அழுத்த வேறுபாட்டுச் சுடர் (Manometric Flame)

ஒலிக்கும் குழல்களில் தோன்றும் கணு, எதிர்க்கணு ஆகியவற்றின் இடங்களைக்காண இக்கருவி பயன்படுகிறது. இதில் ஒரு அறை ஒரு மெல்லிய இடைத்திரையால் இரு பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது. ஒரு பகுதிக்கு *I* என்ற ரப்பர் குழாய் வழியே நிலக்கரி வாயு (Coal gas) வருகிறது. இதை அடுத்து இதே பகுதியில் *J* என்ற ஒரு ஜெட் இருக்கிறது. ஜெட்டில் நிலக்கரி வாயு ஒரு நீண்ட சுடராக எரியும். மற்றொரு பகுதியில் ஒரு சிறிய ரப்பர் குழாய் '*L*' பொறுத்தப்பட்டிருக்கிறது. இதை ஒலிக்கும் ஆர்கான் குழலுடன் பக்கவாட்டில் இணைக்கலாம். '*L*' குழல் ஒரு கணுவுக்குப் பக்கத்தில் இருக்கும்போது அதில் தோன்றும் அழுத்த வேறுபாடுகள் இடைத்திரையை முன்னும் பின்னுமாக இயக்கும். இதனால் சுடர் மேலும் கீழும் துள்ளும், துள்ளல் இடைத்திரையின் இயக்கத்தைப் பொருத்து அமையும். அவற்றை வெறும் கண்ணால் கண்டறிய முடியாது. இதற்காக ஒரு சுழலும் கண்ணடிப்பெட்டி பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதன் நான்கு பங்கங்களிலும் சமதள ஆடிகள் இருக்கும், இதை ஒரு செங்குத்து அச்சைக்கொண்டு வேகமாக சுழலவைக்கலாம். '*L*' குழல் எதிர் கணுவுக்கு அருகில் இருக்கும்போது சுடர் துள்ளாமல் அமைதியாய் இருக்கும்; சுழலும் கண்ணடிப் பெட்டியில் தோன்றும் சுடரின் பிம்பம் ஒரே ஒளிப்பட்டையாக (Band) படம் 76(*a*) தோன்றும். '*L*' குழல் கணுவின் அருகில் இருக்கும்போது சுடர் துள்ளும்.



படம் 76 a

சுழல் கண்ணடிப் பெட்டியில் தோன்றும் பிம்பம் இரம்பப் பற்கள் போன்ற அமைப்பை மேல் பகுதியில் கொண்ட ஒளிப்

பட்டையாக இருக்கும். இந்த அழுத்த வேறுபாட்டுச் சுடரைக் கொண்டு ஒரு இசைச்சுரத்தின் பண்பைக்கூட அறியலாம்.

எடுத்துக்காட்டுகள்

1. இருபக்கமும் திறந்த ஒரு ஆர்கான் குழலின் நீளம் 0·75 மீட்டர். இதைவிட நீளத்தில் குறைந்த இதே போன்ற மற்ருெரு குழலுடன் இது ஒலிக்கும்போது விஞடிக்கு 5 விம்மல்களைத் தோற்றுவிக்கிறது. $0^\circ C$யில் ஒரு இசைக்கவையுடன் ஒலிக்கும் போதும் இதே எண்ணிக்கையுள்ள விம்மல்கள் தோன்றுகின்றன. குட்டையான குழல் $22^\circ C$-யில் இசைக்கவையோடு அதிரும்போது தோன்றும் விம்மல்களைக் கணக்கிடு. ஒலியின் வேகம் $0^\circ C$-யில் 330 மீட்டர்/விஞடி. $22^\circ C$ யில் 344 மீட்டர்/விஞடி.

$0^\circ C$-ல் முதல் குழல் எழுப்பும் ஒலியின் அதிர்வெண்

$$n_1 = \frac{v_0}{2l_1} = \frac{330}{2 \times 0{\cdot}75} = 220 \text{ அதிர்வுகள்/விஞடி.}$$

இரண்டாவது குழல் குட்டையாய் இருப்பதால், அதன் அதிர்வெண் முதலாவதைவிட அதிகமிருக்கும். அது 5 விம்மல்களைத் தோற்றுவிப்பதால், 2-வதின் அதிர்வெண்

$$n_2 = (220 + 5)$$
$$= 225.$$

l_2-என்பது ஆர்கான் குழலின் நீளமானுல்,

$$225 = \frac{330}{2 \times l_2}$$

$$l_2 = \frac{330}{2 \times 225}$$

$$= 0{\cdot}6 \text{ மீட்டர்}$$

$22^\circ C$-யில் இரண்டாவது ஆர்கான் குழலின் அதிர்வு எண்.

$$n_2^1 = \frac{344}{2 \times 0{\cdot}6}$$

$$n_2^1 = 287$$

முதல் குழல், இசைக்கவையுடன் 5 விம்மல்களைத் தோற்றுவிப்பதால், இசைக்கவையின் அதிர்வெண் $= 220 \pm 5$.

$$= 225 \text{ அல்லது } 215.$$

எனவே, 2-வது குழல் இசைக்கவையுடன் சேர்ந்து ஒலிக்கும்போது தோன்றும் விம்மல்கள்

$(287-225)=62$ அல்லது $(287-215=72)$ ஆகும்.

2. முறையே 0·76, 0·81 மீட்டர் நீளமுடைய இரு ஆர்கான் குழல்கள் ஒன்றாக ஒலிக்கும்போது விநாடிக்கு 4 விம்மல்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. அவற்றின் அதிர்வெண்களைக் கணக்கிடு.

n_1, n_2 அவற்றின் அதிர்வெண்களாக இருக்கட்டும்.

$$n_1 - n_2 = 4$$

v-என்பது ஒலியின் வேகமானால்,

$$n_1 = \frac{v}{2l}$$

$$= \frac{v}{2 \times 0{\cdot}76}$$

$$= \frac{v}{1{\cdot}52}$$

$$n_2 = \frac{v}{2l}$$

$$= \frac{v}{2 \times 0{\cdot}81} = \frac{v}{1{\cdot}62}$$

$$\frac{v}{1{\cdot}52} - \frac{v}{1{\cdot}62} = 4$$

$$(1{\cdot}62 - 1{\cdot}52)v = 4 \times 1{\cdot}52 \times 1{\cdot}62$$

$$\cdot 1v = 4 \times 1{\cdot}52 \times 1{\cdot}62$$

$$v = 4 \times 1{\cdot}52 \times 16{\cdot}2$$

$$n_1 = \frac{4 \times 1{\cdot}52 \times 16{\cdot}2}{1{\cdot}52}$$

$= 64{\cdot}8$ அதிர்வுகள்/விநாடி.

$$n_2 = \frac{4 \times 1{\cdot}52 \times 13{\cdot}2}{1{\cdot}62}$$

$= 60{\cdot}8$ அதிர்வுகள்/விநாடி.

3. இரண்டு இசைக்கவைகள் ஒன்றாக ஒலிக்கும்போது விநாடிக்கு 8 விம்மல்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. அவை தனித்

தனியே ஒரு பக்கம் மூடிய குழலில் முறையே 0·32 மீட்டர், 0·33 மீட்டர் நீளமுடைய காற்றுத்தம்பத்துடன் ஒத்திருக்கின்றன. அவற்றின் அதிர்வெண்களைக் கணக்கிடு.

n_1, n_2 என்பவை அவற்றின் அதிர்வெண்களாக இருக்கட்டும்.

$$n_1 = \frac{v}{4l_1} ; \qquad n_2 = \frac{v}{4l_2}$$

l_1, l_2 என்பவை அவற்றின் ஒத்ததிர்வு காற்றுத்தம்ப நீளங்களானல்,

$$n_1 = \frac{v}{4l_1}$$

$$= \frac{v}{4 \times 0{\cdot}32} = \frac{v}{1{\cdot}28}$$

$$n_2 = \frac{v}{4l_2}$$

$$= \frac{v}{4 \times 0{\cdot}33} = \frac{v}{1{\cdot}32}$$

$$n_1 - n_2 = \frac{v}{1{\cdot}28} - \frac{v}{1{\cdot}32}$$

$$8 = \frac{(1{\cdot}32 - 1{\cdot}28)\, v}{1{\cdot}28 \times 1{\cdot}32}$$

$$0{\cdot}04v = 8 \times 1{\cdot}28 \times 1{\cdot}32$$

$$v = \frac{8 \times 1{\cdot}28 \times 1{\cdot}32}{0{\cdot}04} \text{ மீட்டர்/விளுடி.}$$

$$n_1 = \frac{8 \times 1{\cdot}28 \times 1{\cdot}32}{0{\cdot}04 \times 4 \times 0{\cdot}32} = 264 \text{ அதிர்வுகள்/விளுடி,}$$

$$n_2 = \frac{8 \times 1{\cdot}28 \times 1{\cdot}32}{0{\cdot}04 \times 4 \times 0{\cdot}33} = 256 \text{ அதிர்வுகள்/விளுடி.}$$

4. ஒரு இசைக்கவை 512 அதிர்வெண் உடையது, இதன் முதல், இரண்டாவது ஒத்ததிர்வுக்காற்றுத் தம்பங்களின் நீளம் முறையே 0·15 மீட்டர், 0·48 மீட்டர் ஆகும். காற்றில் ஒலியின் வேகத்தையும் முனைத்திருத்தத்தையும் கணக்கிடு.

$$l_1 = 0{\cdot}15 \text{ மீட்டர்}; \quad l_2 = 0{\cdot}48 \text{ மீட்டர்}; \; n=512$$

$$\begin{aligned} v &= 2n\,(l_2 - l_1) \\ &= 2 \times 512\,(0{\cdot}48 - 0{\cdot}15) \\ &= 2 \times 512 \times 0{\cdot}33 \\ &= 337{\cdot}92 \text{ மீட்டர்கள்/விநாடி.} \end{aligned}$$

அறைவெப்ப நிலையில் ஒலியின் வேகம் $= 337{\cdot}92$ மீட்டர்/விநாடி.

$$\begin{aligned} \text{முனைத்திருத்தம்} &= \frac{l_2 - 3l_1}{2} \\ &= \frac{0{\cdot}48 - 3 \times 0{\cdot}15}{2} \\ &= 0{\cdot}015 \text{ மீட்டர்.} \end{aligned}$$

5. $0{\cdot}5$ மீட்டர் நீளமுடைய ஒரு சோனாமீட்டர் கம்பி $15°C$-ல் ஒரு ஆர்கான் குழலோடு ஒத்ததிர்கிறது. வெப்பநிலை மாறும்போது ஒத்ததிர்வு ஏற்பட்ட கம்பியின் நீளம் $0{\cdot}48$ மீட்டராக குறைக்கப்படுகிறது. கம்பியின் இழுவிசை மாறாதிருந்தால் இந்த வெப்பநிலையைக் கண்டுபிடி.

சோனாமீட்டர் கம்பியின் இழுவிசை 'T'-யும் ஓரலகு நீள நிறை 'm'-ம் மாறாதிருக்கும் போது,

$$nl = \text{மாறிலி.}$$

$$\text{இங்கு } \frac{n_1}{n_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

ஆர்கான் குழலின் அதிர்வெண்

$$n = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\gamma.\, r.\, T}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

இவை ஒத்ததிர்வதால்,

$$\sqrt{\frac{T_1}{T_2}} = \frac{l_2}{l_1}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{l_2^2}{l_1^2}$$

$$\begin{aligned} T_2 &= T_1 . \frac{l_1^2}{l_2^2} \\ &= [273 + 15] \left(\frac{{\cdot}50}{{\cdot}48}\right)^2 \\ &= 312{\cdot}5°A \end{aligned}$$

காற்றின் வெப்பநிலை $= 39{\cdot}5°C$.

வினாக்கள்

1. ஆர்கான் குழல் என்றால் என்ன? இதன் அமைப்பை விவரி. ஒரே நீளமுடைய திறந்த குழல், ஒரு முனைமூடிய குழல் ஆகியவை ஒலிக்கப்படும்போது அவை எவ்வாறு வேறுபட்டிருக்கின்றன?

2. ஒரு துளை - இசைக்குழலை விவரி. இதில் அதிர்வுகள் எவ்வாறு காக்கப்படுகின்றன?

3. இருமுனையும் திறந்த குழல், ஒருமுனை மூடிய குழல் ஆகியவற்றில் தோன்றும் அடுக்குச் சுரங்கள் யாவை?

4. மேல் சுரங்களுக்கும் அடுக்குச் சுரங்களுக்கும் உள்ள வேறுபாடு என்ன? அடுக்குச் சுரமல்லாத மேல் சுரங்களுக்கு எடுத்துக்காட்டுகள் தருக.

5. ஒரு ஆர்கான் காற்று அதிரும்போது தோன்றும் கணுக்கள், எதிர்க்கணுக்களை எவ்வாறு செய்முறையில் காட்டலாம்?

6. இசைக்கருவிகள் செய்ய ஏன் திறந்த குழல் தேர்ந்தெடுக்கப்படுகிறது?

7. காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிட ஒத்ததிர்வு தம்பமுறையை விளக்கு.

8. அழுத்த வேறுபாட்டுச்சுடர் கருவியை விளக்கு. இதன் பயன்கள் யாவை?

9. பாடும் சுடர் என்றால் என்ன? இதிலிருந்து ஒலியின் இயல்பைப்பற்றி நாம் அறிவதென்ன?

10. முனைத்திருத்தம் என்றால் என்ன? இது ஒரு ஒலியின் சுரத்தையும், சுரப்பண்பையும் எவ்வாறு பாதிக்கிறது? இதை செய்முறையில் எவ்வாறு கணக்கிடுவாய்?

11. ஒரு ஆர்கான் குழல் இசைக்கவையுடன் சேர்ந்து ஒலிக்கும்பொழுது 10 விநாடிகளில் 32 விம்மல்களைத் தோற்றுவிக்கிறது. இசைக்கவையின் அதிர்வெண் 256. இதே குழல் 264 அதிர்வெண்ணுடைய இசைக்கவையுடன் 10 விநாடிகளில்

48 விம்மல்களைத் தோற்றுவிக்கிறது. ஆர்கான் குழலின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடி.

12. முறையே 0·6 மீட்டர், 1·2 மீட்டர் நீளமுடைய இரு ஆர்கான் குழல்கள் ஒன்றாக ஒலிக்கும் பொழுது விநாடிக்கு 3 விம்மல்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. குட்டையான குழலின் விட்டம் 0·1 மீட்டர் ஆனால் நீளமான குழலின் விட்டத்தைக் கண்டுபிடி. ஒலியின் வேகம் 330 மீட்டர் / விநாடி.

13. விநாடிக்கு 264 அதிர்வைக் கொடுக்கக்கூடிய மூடிய ஆர்கான் குழலின் நீளத்தைக் கணக்கிடு. முதல் இரண்டு மேல் சுரங்களின் அதிர்வெண்களையும் கண்டுபிடி. ஒலியின் வேகம் 330 மீட்டர் / விநாடி.

14. $10°C$-யில் இரண்டு ஆர்கான் குழல்கள் ஒன்றாக ஒலிக்கும் போது 6 விம்மல்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. $24°C$-யில் அவை எத்தனை விம்மல்களைத் தோற்றுவிக்கும் ?

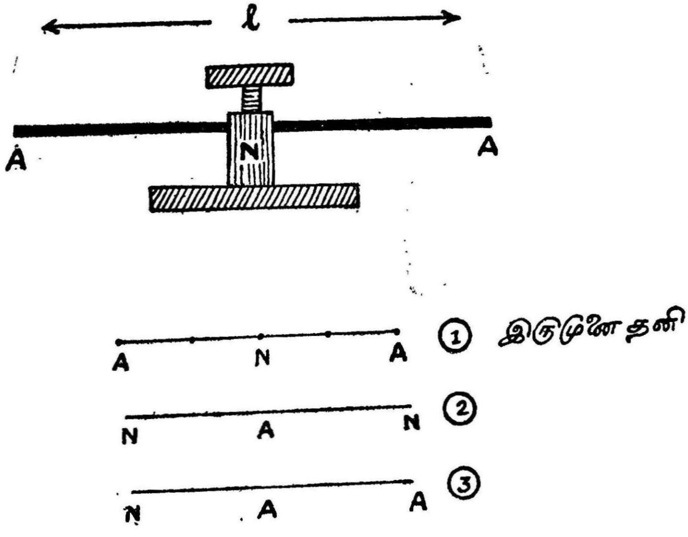
12. உலோகத் தண்டுகள், தகடுகள், சவ்வுகளில் அதிர்வுகள்

12·1. உலோகத் தண்டின் நெட்டலைவகை அதிர்வு

ஒரு உலோகத் தண்டு அதன் ஒரு முனையில் சொர சொரப்பான துணியினால் அதன் நீளவாக்கில் இழுக்கப்பட்டால் தண்டின் வழியே ஒரு நெட்டலை விரைகிறது எனக் கண்டோம். இந்த நெட்டலைக்கான வேகத்தைத்தரும் கோவையை முன்பே கண்டிருக்கிறோம்.

$$v = \sqrt{\frac{q}{\rho}}$$

இத்தகைய தண்டின் நெட்டலைவகை அதிர்வைப் பயன்படுத்தி குண்ட் குழல் பரிசோதனையையும் கண்டோம்.



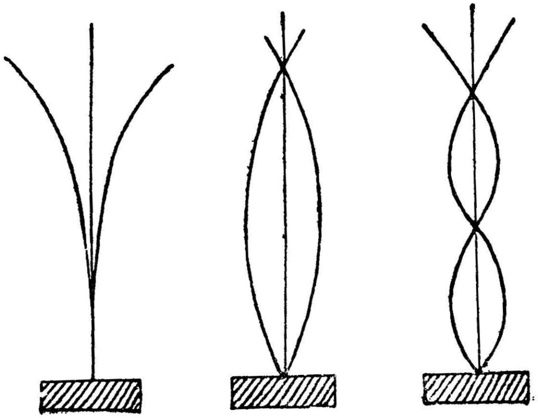
படம் 77

உலோகத் தகடுகள் அதிரும்போது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட வகைகளில் அதிரலாம். தண்டு அதன் நடுப்பகுதியில் பிடிக்கப்பட்டு அதிர்ந்தால் பிடிக்கப்பட்ட புள்ளி ஒரு கணுவாகவும், அதன் முனைகள் எதிர்க் கணுக்களாகவும் அமையும். அல்லது உலோகத் தண்டு இரு முனைகளிலும் பிடிக்கப்பட்டு அதிரலாம். இப்போது இரு முனைகளும் கணுக்களாகவும், நடுப்பகுதி எதிர்க்கணுவாகவும் இருக்கும். இவ்வாறு வெவ்வேறு இடங்களில் பிடிக்கப்பட்ட உலோகத் தண்டின் நெட்டலை அதிர்வை படம் 77 காட்டுகிறது. அதிர்வுகளுக்கான பொதுச் சமன்பாடு,

$$N\gamma = \frac{\gamma}{2l}\sqrt{\frac{q}{\rho}} \qquad [\gamma = 1,2,3,4,......]$$

12·2. உலோகத் தண்டின் குறுக்கலை வகை அதிர்வுகள்

உலோகத் தண்டில் குறுக்கலை வகை அதிர்வுகளைக்கூட தோற்றுவிக்க முடியும். ஒரு உலோகத் தண்டு ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட வகைகளில் அதிர முடியும். அது உலோகத் தண்டு பிடிக்கப்பட்டு இருக்கும் முறையைப் பொறுத்தது. உலோகத் தண்டு ஒரு முனையில் பிடிக்கப்பட்டு மறுமுனை தனியாக அதிரும்படி செய்யப் பட்டால் பிடிக்கப்பட்ட முனை கணுவாகவும், மற்ற முனை எதிர்க்கணுவாகவும் அமையும். இது ஒரு மூடிய குழலின் காற்றுத் தம்பத்தின் அடிப்படை அதிர்வை ஒத்ததாகும். உலோகத் தண்டு ஒன்றிற்கு மேற்பட்ட இடங்களில் பிடிக்கப்பட்டால் அந்த இடங்களை கணுக்களாகக் கொண்டு தண்டு குறுக்கலை வகையில் அதிரும். ஒரு உலோகத் தண்டின் சில குறுக்கலை அதிர்வு வகைகளை படம் 78 காண்பிக்கிறது.

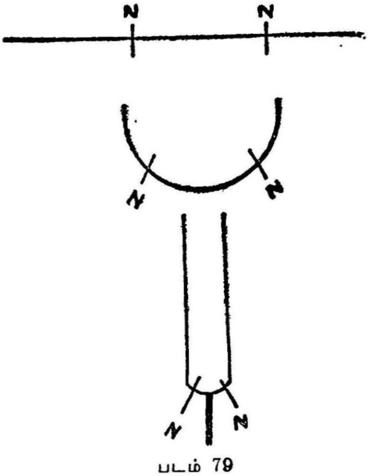


படம் 78

12·3. இசைக்கவை (Tuning Fork)

இசைக்கவை என்பது ஒலியியல் அளவீடுகளில் ஒரு முதன்மை யான கருவியாகும். முறையாகப் பயன்படுத்தப்பட்டால் இது மாருத அதிர்வெண்ணுடைய சுருதியைக் கொடுக்கும். ஆகவே இது சுருதியின் படித்தர (Standard) அளவாகக் கொள்ளப் படுகிறது.

இசைக்கவையின் அதிர்வை, ஒரு முனை தனித்தும் (Free), மறுமுனை பொறுத்தப்பட்டதுமான இரு உலோகத் தண்டுகளின் குறுக்கலை அதிர்வாகக் கொள்ளலாம். தண்டுகளின் முனைகள் ஒரே இடத்தில் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. ஆகவே தனித்த முனைகள் (Free ends) மெதுவாகத் தட்டப்பட்டால் குறுக்கலை வகையில் அதிரும். இதில் தோன்றும் சுரம் துல்லியமாக ஒற்றைச் சுரமாக (Pure note) இருக்கும். ஏதாவது தப்பித் தவறி மேல் சுரங்கள் எழுப்பப் பட்டாலும் அவை குறைவா கவே இருக்கும். இவை அடிப் படை அதிர்வைவிட மிகவிரை வில் மறைந்து விடும். மேல் சுரங்களும் அடுக்குச் சுரங்க ளாகவே இருக்கும். ஒரு இசைக்கவை ஒரு ஒத்ததிர்வுப் பெட்டியில் பொருத்தப்பட் டால் அதுவும் அடிப்படை வகையிலேயே அதிரும். எனவேதான் மிகத் துல்லிய மாக ஒற்றைச் சுரத்தை எழுப்புவதால் இது ஒரு முதன்மையான கருவியாக ஒலியியலில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைத் துல்லியமாகக் கணக்கிட பல்வேறு முறைகள் உள்ளன. இசைக்கவையின் தனித்த முனையில் அரத்தைக்கொண்டு (File) சிறிது நிறையைக் குறைத்தால் அதன் சுருதி கூடும். அடிப் பக்கத்தில் சிறிது குறைத்தால் அதன் சுருதி குறையும். மின்னோட் டத்தால் காக்கப்படும் இசைக்கவை ஒரே சுருதியை நீண்டநேரம் கொடுக்கவல்லது. இது வேலை செய்யும் முறை, கோட்பாடு ஆகியவற்றை வேருேர் இடத்தில் கண்டிருக்கிருேம்.



படம் 79

படம் 79-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் தனித்த இரு முனையும், நடுவிலே பொருத்தப்பட்டதுமான ஒரே அதிரும் தண்டாகவும்

இசைக்கவையைக் கொள்ளலாம். இது 'U' வடிவில் வளைக்கப் பட்ட தண்டாகக் கொண்டால் அதன் அடிப்பக்கத்தில் இரண்டு அதிராப் புள்ளிகள் (கணுக்கள்) அமையும். வளைவான பகுதியில் கைப்பிடிக்காக ஒரு சிறிய தண்டு குறுக்காக அமைக்கப்படுகின்றது. இதனால் கணுக்கள் இன்னும் நெருங்கிவிடும்.

இசைக்கவையின் அதிர்வு எண், அது அதிரும் தளத்தில் தண்டின் தடிமனையும், இசைக்கவை செய்யப்பட்டுள்ள பொருளில் ஒலியின் வேகத்தையும் பொருத்து அமையும். அத்தோடு இசைக் கவையின் கால் (Prong) நீளத்தின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும். அதிர்வெண்,

$$N = \frac{m^2 k}{4\sqrt{3}\pi l^2}\sqrt{\frac{q}{\rho}}.$$

இங்கு K- மாறிலி. $K = \frac{t}{\sqrt{12}}$ (t—தடிமன்)

l- காலின் நீளம் (Length of Prong)

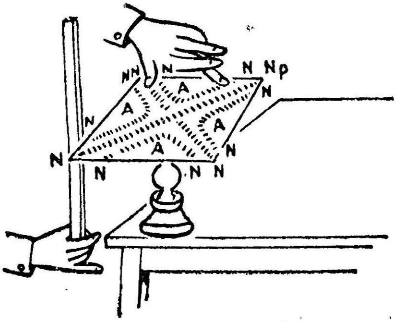
q, ρ - என்பவை இசைக்கவை செய்யப்பட்ட பொருளின் முறையே யங்கின் குணகம், அடர்த்தி ஆகியவை ஆகும். m- என்பது அதிரும் வகையைப் பொறுத்து அமையும் ஒரு மாறிலி. அடிப்படை அதிர்வுக்கு 'm'- ன் மதிப்பு 1·875

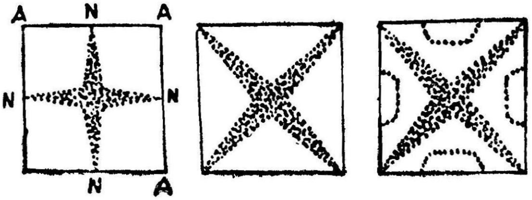
வெப்பநிலை உயர்ந்தால் இசைக்கவையின் சுருதி மிகக் குறைந்த அளவே மாறும். 1C° உயர்வுக்கு, ஏறத்தாழ 0·01% சுருதி குறையும்.

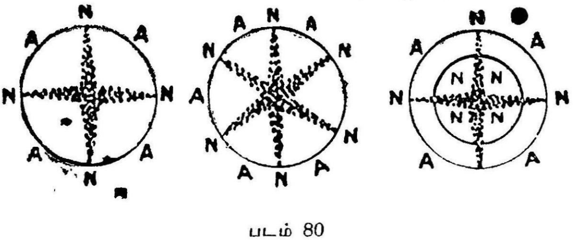
12·4. சவ்வுகள் (membranes)

இரு பரிமாணங்களில் (Two Dimensions) குற்றலை முறையில் அதிரும் பொருள்களின் வகையைச் சேர்ந்தவை தகடு களின் அதிர்வுகளும், சவ்வுகளின் அதிர்வுகளும் ஆகும். அதிரக் கூடிய சவ்வு இழுத்துக் கட்டப்பட்டிருக்கும். இந்த இழு விசை தான் கம்பிகளுக்கு மீட்பு விசையைக் (Restoring Force) கொடுக் கிறது. ஆனால் சவ்வுகளிலும், தகடுகளிலும் அவற்றின் வளைவு திருப்புத்திறன் (Bending Moment)தான் மீட்பு விசையை அவை களுக்கு அளிக்கிறது. சவ்வு, தகடு ஆகியவற்றின் அதிர்வுகள் இரு பரிமாணங்களில் இருப்பதால் அவற்றைக் கணக்கியல் முறையில் பகுப்பாய்வு செய்வது (Mathematical Analysis) கடினம். சவ்வு, தகடு ஆகியவற்றின் அதிர்வுகளைப் பற்றிப் படிப்பது இன்றைய அறிவியலில் மிகவும் பயனுடையவை. ஏனெனில் மெல்லிய

தகடுகள், சவ்வுகள் போன்றவை மின் - ஒலிக்கருவிகளில் (Electro - Acoustic Tranducers) பயன்படுத்தப்படுகின்றன. மைக்ரோபோன், ஒலிப்பான் (Loud - Speaker), ஹைடிரோ போன், தொலை பேசிக் கருவிகள் ஆகியவற்றில் மெல்லிய தகடுகளின் அதிர்வுகள் பயன் படுத்தப்படுகின்றன. இந்த மெல்லிய தகடுகள் சவ்வாகவோ (Membranes) அல்லது தகடாகவோ இராது. இரண்டுக்கும் இடைப்பட்ட ஒன்றாக இருக்கும். இவற்றின் அதிர்வுகள் பண்புகள் முதலியன செய்முறைகளால் அறியப்படுகின்றன.







படம் 80

க்ளாட்னி (Chladni) என்பவர் முதன் முதலில் தகடுகளின் அதிர்வை சோதனை மூலம் கண்டறிந்தார். இதில் ஒரு பித்தளைத் தகடு ஒரு தாங்கியின் மேல் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது அதன் ஓரங்கள் வயலின் வில்லைக்கொண்டு மீட்டப்படுகின்றன. தகட்டின்

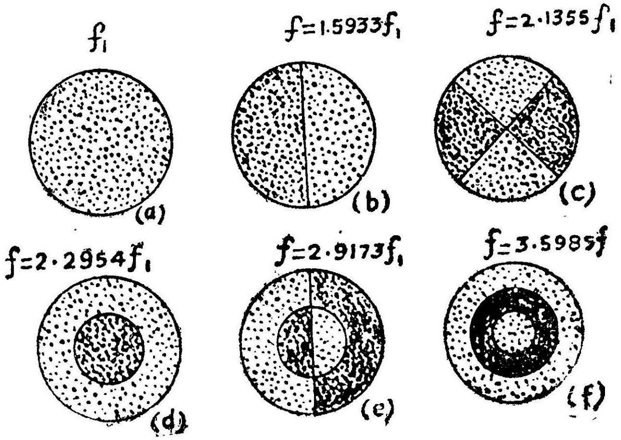
மீது மெல்லிய மணலைத் தூவினால் தகட்டின் அதிர்வுக்கு ஏற்ப மணல் தானாகவே சிற்சில இடங்களில் ஒதுங்கி நிற்கும். தகட்டின் கணுப்பாகங்களில் Nodal points) மணல் ஒதுங்கி நிற்க எதிர்க் கணுப்பாகங்கள் (Antinodal Points) மணல் அற்று இருக்கும். மணல் பலவகைகளில் பரவி நிற்கும். (படம் 80) தகட்டின் பல்வேறு வகை அதிர்வுகளைக் காண்பிக்கிறது. தகடு சதுர மாகவோ, வட்டமாகவோ இருக்கலாம். ஒவ்வொன்றுக்கும் ஒவ்வொரு விதமான அதிர்வு வகை (Mode of Vibration) உண்டு. இவைகளுக்கு க்ளாட்னி (Chladni) படங்கள் என்று பெயர்.

12.5. இழுத்துக்கட்டப்பட்ட சவ்வுகள், மெல்லிய தகடுகள் ஆகிய வற்றின் அதிர்வுகள் (Vibrations of Stretched Membranes and diaphragm)

மிருதங்கம், தபேலா, கெட்டில் டிரம் ஆகியவற்றின் அதிர் வினால் தோன்றும் ஒலிகள் நமக்குத் தெரிந்தவை. இவைகளில் சவ்வுகள் அல்லது மெல்லிய தோல்கள் இழுத்துக்கட்டப்பட்டிருக் கும். இந்த சவ்வுகள் அல்லது தோல்களின் அதிர்வுகள் பெரும்பா லும் ஒரு தகட்டின் அதிர்வெண்களைப்போல் இருக்கும். இத்தகைய தோல் கருவிகள் எந்த ஒரு குறிப்பிட்ட சுரத்திற்கும் இசைவு செய்யப்படுவதில்லை. இவை பொதுவாக இசைக்கு இனிமை கூட்டும் பக்க, தாளக்கருவிகளாகவே செயல்படுகின்றன. ஒரு இழுக்கப்பட்ட தோல் ஒரு புள்ளியில் அடிக்கப்பட்டால் அடிக்கப் பட்ட இடத்திலிருந்து தோலின் எல்லைகளை நோக்கி இரு பரிமா ணங்களில் ஒரு துடிப்பு (Pulse) விரையும். தோலின் எல்லைகளில் இந்தத் துடிப்பு எதிரொலிக்கப்பட்டு திருப்பி அனுப்பப்படுகிறது.

இதேபோல் தோலின்மீது சமச்சீரான நேர இடைவெளிகளில் அடிகள் வழங்கினால் தொடர்ச்சியான அலைகள் தோலின் வழியே விரையும். இவை தோலின் எல்லைகளில் எதிரொலிக்கப்படுவதால் இழுத்துக் கட்டப்பட்ட கம்பியில் போன்று நிலையான அலைகள் தோலில் தோன்றும். இதில் ஒவ்வொரு அலையும் தனித்தனி அதிர் வெண்ணைக் கொண்டிருக்கும். இவற்றில் மிகச் சிறிய அதிர்வெண், அடிப்படை அதிர்வெண் ஆகும். மற்றவை மேல் சுரங்கள் (Overtones) ஆகும். பல்வேறு நிலைகளின் அதிர்வெண்கள் 1 : 1·594 : 2·136 : 2·295 போன்ற ஒரு சீரியல்பு அற்ற (Non-Harmonic) தொடராக இருக்கும். அதிரும் சவ்வுகளில் கணுக்கள் புள்ளிகளாக இரா. அவை ஒரு கோட்டில் அமையும். இவை கணுக்கோடுகள் (Nodal Lines) எனப்படும். சவ்வின் எல்லை (Boundary) அப்படிப் பட்ட ஒரு கணுக்கோடாக இருக்கும். வட்டமான ஒரு சவ்வின் பல்வேறு அதிர்வுநிலைகள் அவற்றின் அதிர்வெண்களோடு படத்

தில் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. இவை அதிர்வெண் ஏறுவரிசையில் உள்ளவை.



படம் 81

மிருதங்கம், தபேலா போன்றவற்றில் உள்ளதுபோல் அதிரும் சவ்வு அல்லது தோலுக்கு அடியில் உள்ளீடற்ற கூடு ஒன்றை அமைப்பதால் அதிர்வெண்கள் மிகவும் மாற்றப்படுகின்றன. இத்துடன் வட்டமான தோலின் நடுப்பகுதியில் இரும்புத்தூள், கோந்து ஆகியவற்றின் கலவை பூசப்படுகிறது. இதனுல் அதிர்வு அடையும் தோலின் அதிர்வு நிலை (Mode of Vibration) சீராக்கப் பட்டு அவற்றின் கூறுகள் ஏறத்தாழ ஒரு சீரியல்பான தொடராக அமையும். இதனுல்தான் தபேலா போன்றவை ஒரு இசை தாளக் கருவியாக மட்டுமின்றி, தனி இசைக் கருவியாகவும் பயன்படுத்தப் படுகிறது. இதன் சுருதி மற்ற டிரம்களைவிட மேன்மையானது.

பொதுவாக சவ்வுகள், தோல்கள், மெல்லிய இடைத் திரைகள் (Diaphragm) அதிரும்போது அவை இசையில்லாத (Non-musical) ஒலிகளையே தோற்றுவிக்கின்றன. அவற்றை ஓசைகள் என்றும் சொல்ல முடியாது. கிராமபோனிலுள்ள ஒலிப்பெட்டி, ஒலிப்பான்களில் உள்ள இடைத் திரைகள் அதிரும்போது இசை ஒலிகளை எழுப்புகின்றன. இவை இதற்கென்றே சிறப்பாகச் செய்யப்பட்ட இடைத் திரைகளாகும். இவற்றில் ஒரு சிறிய பெட்டி போன்ற அமைப்பில் இடைத்திரை பொருத்தப் பட்டுள்ளது. இடைத்திரையின் இயல்பு அதிர்வெண் இசையில் லாததாகஇருந்தாலும் அது, பயன்படுத்தப்படும் இசைச்சுரத்தின் சுருதிக்கு மிக அதிகமாகவோ அல்லது மிகக் குறைவாகவோ

இரா. எந்திரவிசை (Mechanical force) அல்லது மின்விசையால் விசைபடுத்தப்பட்டே இந்த இடைத்திரைகள் அதிருகின்றன. இடைத்திரையின் அதிர்வு எண், அதிரச் செய்யும் விசையின் அதிர்வெண்ணையே கொண்டிருக்கும். மைக்ரோஃபோன்கள், ஒலிப்பான்கள், தொலைப்பேசி வாங்கிகள் ஆகியவற்றிலுள்ள இடைத்திரைகள் அமைக்க, இத்தகைய தகடுகள், தட்டுகள், இடைத்திரைகள் ஆகியவற்றின் அதிர்வுகளைப் பற்றித் தெரிந்து கொள்வது பயனுள்ளதாக இருக்கும்.

வினாக்கள்

1. ஒரு இசைக்கவையின் அதிர்வுகள் பற்றி விளக்கி எழுது. இது ஒலியியல் அளவீட்டில் முக்கியத்துவம் வாய்ந்தது என்பது ஏன்?

2. க்ளாட்னி படங்கள் என்பவை யாவை? இவற்றைப் பெறும் முறைகள் யாவை?

3. சதுரத் தகடுகள் அல்லது வட்டத் தகடுகள் ஆகியவற்றின் அதிர்வுகள் பற்றி விளக்கு.

4. 3 மீட்டர் நீளமுள்ள ஒரு பித்தளைத் தண்டு நடுப் புள்ளியில் பிடிக்கப்பட்டு நெட்டலை வகையில் அதிரும்போது அதன் அதிர்வெண் 600. அதன் அடர்த்தி 8·3 கிராம்/க.செ.மீ என்றால் அதன் யங்கின் குணகத்தைக் கணக்கிடு.

5. 1.5 மீட்டர் நீளமுடைய ஒரு மரத் தண்டு நடுப்புள்ளியில் பிடிக்கப்பட்டு நெட்டலையில் அதிருகிறது. அதன் சுரம் 1.3 மீட்டர் நீளமுடைய திறந்த குழலின் சுரத்தை ஒத்திருக்கிறது. மரத் தண்டில் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடு.

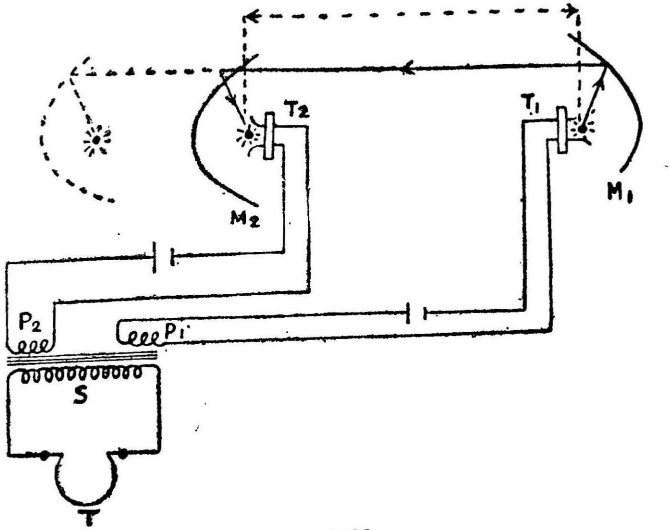
6. இழுத்துக்கட்டப்பட்ட (Stretched) சவ்வுகளின் அதிர்வு பற்றி விளக்கி எழுது. அவை தோல் இசைக் கருவிகளில் எவ்வாறு பயன்படுத்தப்படுகின்றன?

13. ஒலியியல் அளவீடுகள்
(Acoustical Measurements)

13·1 ஒலிவேகத்தை அளவிடுதல்

ஹெப்பின் முறை (Hebb's method)

ஹெப் என்பவர் ஒலியின் வேகத்தைத் துல்லியமாகக் கணக்கிட கீழ்க்காணும் கருவியைப் பயன்படுத்தினர். M_1, M_2 என்ற இரண்டு பரவளைய கண்ணுடிகள் (Parabolic Mirrors) ஒன்றையொன்று நோக்கும்படி எதிரெதிராக வைக்கப்படுகின்றன (படம் 82). M_1 கண்ணுடியின் முன் அதன் குவியத்தில்



படம் 82

n அதிர்வெண்ணுடைய ஒரு விசில் சீராக ஒலிக்கப்படுகிறது. T_1 என்ற மைக்ரோபோனும், M_1 கண்ணுடியின் குவியத்தில்

வைக்கப்படுகிறது. விசில் ஒலி M_1 கண்ணுடியில் எதிரொலிக்கப் பட்டு அதன் அச்சுக்கு இணையாக இரண்டாவது கண்ணுடியை நோக்கிச் செல்லும். இரண்டாவது கண்ணுடியின் குவியத்தில் மற்ருரு மைக்ரோபோன் T_2 வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. மைக்ரோபோன்கள் T_1, T_2 படத்தில் மின்சுற்றில் இணைக்கப் பட்டிருக்கின்றன. P_1, P_2 என்பவை சிறப்பாக இதற்காகவே சுற்றப்பட்ட ஒரு தூண்டுச் சுருளின் முதன்மைச் சுற்றுக்கள் (Primary windings) ஆகும். இதன் துணைச்சுற்றிற்கு (Secondary winding) ஒரு தொலைபேசி வாங்கி (Telephone receiver) இணைக்கப் படுகிறது.

விசில் ஒலி M_1 ல் எதிரொளிக்கப்பட்டு M_2 ஐ அடைகிறது. மைக்ரோபோன்கள் T_1, T_2 இரண்டிலும் மாறு மின்னேட்டம் தோன்றுகிறது. இவை முதன்மைச்சுற்று P_1, P_2 வழியே செல்கின்றன. இந்த இரு மாறுமின்னேட்டத் திற்கும் ஒரு கட்டவேறுபாடு இருக்கும். இந்தக்கட்ட வேறுபாடு இரு மைக்ரோபோன்கள் T_1, T_2-க்கு இடையே உள்ள தொலைவைப் பொருத்து அமையும். எடுத்துக் காட்டாக, T_1 மைக்ரோபோனில் ஒரு இறுக்கம் (Compression) படுவதாகக் கொள்வோம். இப்போது அதன் இடைத்திரை (Diaphragm) உள்நோக்கி இடம்பெயரும். இதனுல் P_1-ல் ஒரு குறிப்பிட்ட கட்டமுடைய மாறுமின்னேட்டம் தோன்றுகிறது. T_1, T_2-க்கு இடையே உள்ள தொலைவு ஒலியின் அரை-அலைநீளத்தின் ஒற்றைப் படை எண்ணுக்குச் $\left(\text{Odd multiple of } \frac{\lambda}{2}\right)$ சமமாக இருக்குமே யாளுல் இரண்டாவது மைக்ரோபோன் T_2-வில் ஒரு தளர்ச்சி (Rarefaction) படும். இதனுல் அதன் இடைத்திரை வெளி நோக்கி இடம்பெயரும். P_2-வில் எதிரான கட்டமுடைய மாறு மின்னேட்டம் தோன்றும். எனவே இந்த இரு மின்னேட்டங் களும் ஒன்றையொன்று அழித்துவிடும். துணைச்சுற்றில் எந்த மின்னேட்டமும் இருக்காது. எனவே ஒலிவாங்கி R-ல் எந்த ஒலியும் கேட்காது. இப்போது M_2 கண்ணுடி, மைக்ரோபோன் T_2 உடன் பின்னேக்கித் தள்ளப்பட்டால் T_1, T_2 இடையே தொலைவுமிகும். M_2 தள்ளப்பட்ட தொலைவு $\frac{\lambda}{2}$க்கு சமமாக இருந்தால் இப்போது T_1-ல் இறுக்கம் தோன்றும்போது எதிரொளிக்கப்பட்ட அலைகளால் T_2-விலும் அதே இறுக்கம் தோன்றும். அதாவது T_1, T_2 களில் தோன்றும் மாறுமின்னேட் டங்கள் ஒரே கட்டமுடையதாக இருக்கும். முதன்மைச் சுற்றுகள் P_1, P_2 இரண்டிலும் தோன்றும் மின்னேட்டங்கள் ஒரே

கட்டமுடையதாய் இருக்கும். இதனல் ஒலிவாங்கி R-ல் பெரு மதிப்பு ஒலி (Maximum Sound) கேட்கும். மீண்டும் கண்ணுடி M_2, மைக்ரோபோன் T_2 ஆகியவற்றைப் பின்னேக்கி $\frac{\lambda}{2}$ தொலைவு தள்ளினல் ஒலிவாங்கியில் எந்த ஒலியும் கேட்காது. ஏனெனில் மைக்ரோபோன் இடைத்திரைகளில்படும் ஒலி அலைகள் இறுக்கம் தளர்ச்சி கொண்டவையாய் இருக்கும். எனவே மின்னேட்டங்கள் எதிர்க்கட்டமுடையவையாய் இருக்கும்.

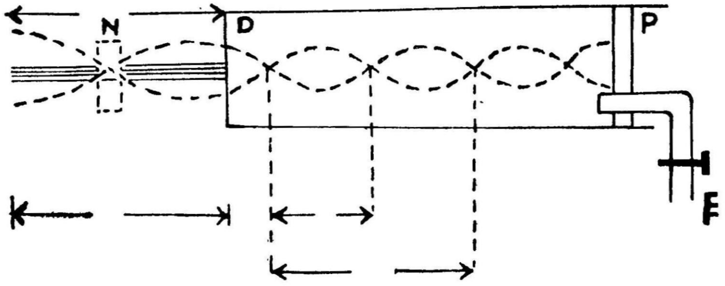
ஆகவே இரண்டு அடுத்தடுத்த ஒலி கேட்காத நிலைகளுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு ஒரு அலைநீளத்தைத் தரும். ஒலி கேட்காத நிலை நன்ருக இருப்பதற்கு மைக்ரோபோன் சுற்றில் தேவையான மின்தடைகளை இணைக்கலாம். இந்த முறையில் அடுத்தடுத்த ஒலி கேட்காநிலைகள் அல்லது மிகுஒலி கேட்கும் நிலைகளுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவுகள் அளக்கப்படுகின்றன. இவற்றின் சராசரி மதிப்பு ஒரு அலைநீளத்தைக் கொடுக்கும். விசிலின் அதிர்வெண்ணை ஒரு இசைக்கவையைப் பயன்படுத்தி விம்மல்கள் முறையில் கண்டுபிடிக்கலாம். n-என்பது விசில் ஒலியின் அதிர்வெண் என்ருல் ஒலி வேகம், $v = n\lambda$. இந்த முறையில் கணக்கிடப்பட்ட ஒலிவேகம் துல்லியமான மதிப்பைக் கொடுக்கும். இந்த முறையில் குறைபாடுகளும், பிழைகளும் மிகக் குறைவு.

13·2 குண்ட் குழல் (Kundt's Tube) முறை

1866-ம் ஆண்டு குண்ட் என்பவர் ஒரு சிறிய கருவியைக் கண்டுபிடித்தார். இதைப் பயன்படுத்தி ஒரு திடப்பொருள், திரவம், வாயு ஆகியவற்றில் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடலாம். இந்த சோதனைகள் குழலில் அடைக்கப்பட்ட வாயுக்கள் அல்லது திரவங்களில் ஒலிவேகத்தைக் காணச் செய்யப்படலாம்.

ஒரு நீண்ட கண்ணுடிக்குழல் கிடைத்தளத்தில் பொருத்தப் பட்டிருக்கிறது. (படம் 83) குழல் இரண்டு பக்கமும் திறந்ததாக இருக்கும். இதன் ஒரு முனையின் வாய்ப்பகுதி ஒரு இறுக்கமான பிஸ்டன் அமைப்பால் P மூடப்படுகிறது. இந்தப் பிஸ்டனின் நிலை மாற்றக்கூடியது. மற்ருெரு முனைவழியே ஒரு நீண்ட கண்ணுடி அல்லது உலோகத்தண்டு படத்தில் உள்ளதுபோல் பொருத்தப்படுகிறது. உலோகத்தண்டு அதன் நடுப்பகுதியில் N இறுக்கமாகப் பிடிக்கப்பட்டிருக்கும். ஒரு சிறிய தக்கையாலான வட்டு (Cork disc) D உலோகத்தண்டின் முனையில் பொருத்தப் பட்டிருக்கும். இந்த வட்டு கண்ணுடிக்குழலின் உள் பிஸ்டனை நோக்கி இருக்கும்.

நெட்டலை முறையில் உலோகத்தண்டு அதன் நீளவாக்கில் அதிரவைக்கப்படுகிறது. இதற்கு ஒரு சிறிய தோல் துண்டைப் பயன்படுத்தலாம். உலோகத்தண்டின் இரு முனைகளும் எதிர்க் கணுக்களாகவும், பிடிக்கப்பட்டுள்ள நடுப்பகுதி கணுவாகவும் உலோகத்தண்டு அதிர்வடையும். எனவே, தக்கைவட்டு முன்னும் பின்னும் இயங்கி குழலினுள் ஒரு நெட்டலையை



படம் 83

விரையச் செய்யும். இந்த நெட்டலைக் குழலிலுள்ள காற்று அல்லது வாயுவில் பரவி அடுத்த முனைக்குச் செல்லும். எதிர் முனையிலுள்ள பிஸ்டனில் இந்த அலைகள் எதிரொலிக்கப் பட்டுத் திரும்பும். நேர் அலையும் திரும்பும் அலையும் ஒன்றுடன் ஒன்று பொருந்தி ஒரு நிலையான அலையைக் குழலினுள் தோற்று விக்கும். பிஸ்டனின் நிலை, அதை முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி சரிசெய்யப்படுகிறது. உலோகத்தண்டு வெளியிடும் ஒலி குழலி னுள் உள்ள காற்றை அதே அதிர்வெண்ணில் அதிர்வடையவைக் கும் வரை சரிசெய்யப்படுகிறது. குழலிலுள்ள காற்று இப் போது ஒத்ததிருமாறு செய்யப்படுகிறது. ஒத்ததிரும் போது குழலிலுள்ள காற்றில் தோன்றும் கணு, எதிர்க்கணுக்களின் நிலைகளைக்காண நுண்ணிய தக்கைத்தூள் அல்லது லைக்கோ போடியம் (Lycopodium) தூள் சிறிதளவு குழலினுள் தூவப்படு கிறது. பின் உலோகத் தண்டை அதிர்வடைய வைத்தால் குழலி னுள் தூவப்பட்ட தூள் சில குறிப்பிட்ட இடங்களில் குவிகின்றது. இப்படிக்குவியும் தூள் வரிவரியாக அமையும். தூள்குவியும் இடம் கணுக்களாகும். ஏனெனில் எதிர்க்கணுக்களில் செறிவு குறைந்தும் கணுக்களில் செறிவு மிகுந்தும் இருக்கும். இந்தக் குவியல்களின் இடைத்தொலைவை அளந்து காற்றில் அலை நீளத்தைக் கணக்கிடலாம்.

la-என்பது இரு குவியல்களுக்கிடையே உள்ள சராசரித் தொலைவு என்றால்

$$la = \frac{\lambda a}{2}$$ [λa என்பது காற்றில் அலை நீளம்]

$$\therefore Va = n\lambda a \qquad \ldots\ldots(1)$$

$$= 2\,nla.$$

lr என்பது உலோகத்தண்டின் நீளம் என்றால்,

$$lr = \frac{\lambda r}{2}$$ [ஏனெனில் பொருத்தப்பட்ட நடுப்புள்ளி கணுவாகவும், இரு முனைகளும் எதிர்க் கணுக்களாகவும் அமைவதால்]

Vr-என்பது உலோகத்தண்டில் ஒலியின் வேகம் என்றால்

$$Vr = 2n\,lr \qquad \ldots\ldots(2)$$

$$\frac{Va}{Vr} = \frac{la}{lr}$$

அல்லது, $Va = Vr\left(\frac{la}{lr}\right).$

இதில் Vr-தெரிந்தால் Va-ஐக் கணக்கிடலாம்.

la, lr என்பவை சோதனையில் அளக்கப்படுகின்றன.

13·3. வாயுக்களில் ஒலியின் வேகம்

உலோகத்தண்டில் ஒலியின் வேகம்,

$$Vr = Va\left(\frac{lr}{la}\right)$$ எனக்கண்டோம்.

இப்போது ஒரு கொடுக்கப்பட்ட வாயுவில் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிட 'குண்ட் குழல்' அந்த வாயுவால் நிரப்பப்படுகிறது. பின் முன்பு சொன்னதுபோல பரிசோதனை செய்யப்படுகிறது. குழலினுள் தோன்றும் குவியல்களுக்கு இடையேயுள்ள சராசரித் தொலைவு அளக்கப்படுகிறது. lg என்பது குவியல்களுக்கு இடையேயுள்ள தொலைவு ஆனால் (வாயுவில்)

$$Vr = Vg\left(\frac{lr}{lg}\right)$$

$$Vg = Vr\left(\frac{lg}{lr}\right)$$

Vr-தெரிந்தால் Vg-ஐக்கண்டுபிடிக்கலாம்.

இதற்காக 'குண்ட் குழலின்' ஒரு பக்கத்தில் E என்ற கண்ணாடிக் குழல் பொருத்தப்படுகிறது. முதலில் இதை ஒரு வெளியேற்றும் பம்புக்கு இணைத்து குண்ட் குழலில் உள்ள காற்று வெளியேற்றப் படுகிறது. பின் E-கண்ணாடிக்குழல் வழியாக வாயு செலுத்தப் படுகிறது. இதே முறையில் திரவங்களிலும் ஒலி வேகத்தைக் கண்டறியலாம். ஆனால் இந்த முறையில் கணக்கிடப்பட்ட ஒலியின் வேகம் உண்மையான ஒலியின் வேகத்தைவிட சற்றுக் குறைந்திருக்கும், ஏனெனில் கணுக்களில் தோன்றும் அழுத்த வேறுபாடு மிக அதிகமாக இருப்பதால் கணுக்களின் அருகே குழல் சற்று தளர்ந்துவிடும். எனவே, ஒலியின் வேகத்தின் மதிப்பு சற்று குறைவாகக் கிடைக்கும், இதற்காக மேலேகண்ட ஒலி வேகத் திற்கான கோவையைச் சற்று திருத்தவேண்டி இருக்கிறது. H. லாம்ப் (Lamb. H) என்பவர் இந்தத் திருத்தத்தைக் கொள்கை அடிப்படையில் (Theoretical basis) கண்டு பிடித்தார்.

$$V = V^1 \sqrt{\frac{1+2\ Ky}{hr}}$$

V-என்பது திரவத்தில் ஒலிவேகம்.

V^1-என்பது குழலில் உள்ள திரவத்தின் ஒலிவேகம்

r - குழலின் ஆரம்

h - குழலின் தடிமன்

k - பரும மீட்சிக் குணகம் (bulk modulus)

y - கண்ணாடியின் யங்கின் குணகம்

1. 'குண்ட் குழலின்' அளவீடுகளிலிருந்து ஒரு வாயுவின் இரு வெப்ப எண்களின் தகவைக் கண்டு பிடிக்கலாம்.

$$V = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

[γ-என்பது வெப்ப எண்களின் தகவு.
ρ-வாயுவின் செறிவு]

குண்ட் குழலில் உள்ள வாயுவின் அழுத்தம் தெரிந்தால் γ-கணக்கிடப்படலாம்.

2. இதே முறையில் அளவீடுகளிலிருந்து ஒரு உலோகத் தண்டின் 'யங்கின் குணக'த்தைக்கூட கணக்கிடலாம்.

$$Vr = \sqrt{\frac{q}{\rho}}$$

[q-என்பது யங்கின் குணகம்.
ρ-உலோகத்தின் அடர்த்தி]

Vr-ன் மதிப்பைக் கண்டுபிடித்து அதிலிருந்து q-ஐக்கணக் கிடலாம்.

பல்வேறு திரவங்களில் ஒலியின் வேகம்

எண்	திரவத்தின் பெயர்	வெப்ப நிலை °C	ஒலியின் வேகம் மீட்டர்/விஞடி
1	ஆல்கஹால்	20	1440
2	ஈதர்	20	1170
3	டர்பன்டைன்	20	1360
4	தூய்மையான நீர்	20	1430
5	கடல்நீர்	20	1510
6	பாதரசம்	20	1460

பல்வேறு வாயுக்களில் ஒலியின் வேகம் (at N.T.P.)

எண்	வாயுவின் பெயர்	ஒலியின் வேகம் மீட்டர்/விஞடி
1.	காற்று	331
2.	ஆக்ஸிஜன்	315
3.	ஹைடிரஜன்	1263
4.	கார்பன் மானே ஆக்ஸைடு (Co)	336
5.	கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு (Co_2)	258

பல்வேறு திடப்பொருள்களில் ஒலியின் வேகம்

எண்	திடப்பொருளின் பெயர்	ஒலியின் வேகம் மீட்டர் /விஞடி
1.	அலுமினியம்	5100
2.	செம்பு	3900
3.	தேனிரும்பு	4700
4.	எஃகு	5100
5.	வெள்ளி	2600
6.	பனிக்கட்டி	3200
7.	பித்தளை	3600
8.	கண்ணுடி	4000—5300
9.	ரப்பர்	30
10.	குவார்ட்ஸ்	5500

3. காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிட ஒத்ததிர்வுத் தம்ப முறையும் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இந்த ஒத்ததிர்வுத் தம்ப முறையை வேறோர் இடத்தில் காண்க.

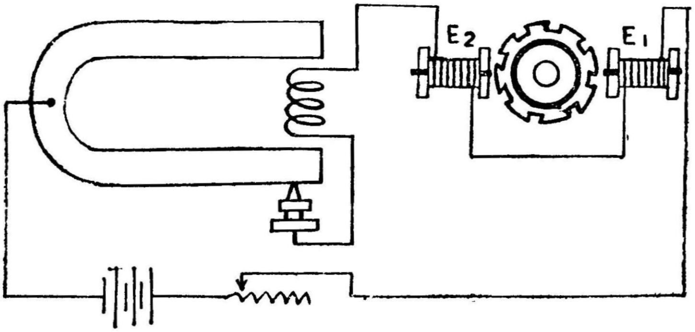
13·4· அதிர்வெண்ணை அளத்தல் (Frequency measurement)

ஒலியியலில் ஒலியின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடித்தல் மிகவும் முக்கியத்துவம் வாய்ந்தது. இங்கு, அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடும் சில முறைகளைக் காண்போம்.

13·5. ஃபோனிக் சக்கரம் (Phonic wheel)

போனிக் சக்கரத்தைப் பயன்படுத்தி அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடும் முறையை லார்டு ராலே என்பவர் கண்டுபிடித்தார். இது மின்னோட்டத்தால் காப்பிடப்பட்ட இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைத் துல்லியமாகக் கணக்கிட மிகவும் பயனுள்ளது.

இந்த முறையில் பயன்படும் கருவி படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது (படம் 84). இதில் ஒரு தேனிரும்பால் ஆன பல்சக்கரம் உள்ளது. இதிலுள்ள பற்கள் சம இடைவெளி உடையன. இது ஒரு சமதள அச்சைக் கொண்டு (Horizontal axis)



படம் 84

சுழலக் கூடியதாக இருக்கும். E_1, E_2 என்பன இரு மின்காந்தங்கள். இவை போனிக் சக்கரத்தின் இரு பக்கங்களிலும் வைக்கப்பட்டுள்ளன. போனிக் சக்கரத்தின் ஒரு விட்டத்தின் இரு முனைகளிலும் இந்த மின்காந்தங்கள் அமையுமாறு பொருத்தப்படும். மின்காந்தங்கள் சக்கரத்தின் பற்களை ஏறத்தாழ தொடுமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கும். மின்காந்தத்தின் மேலுள்ள மின்சுற்றுகள் ஒரு மின்னோட்டத்தால் காக்கப்படும் இசைக் கவையின் மின்சுற்றுடன் படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் இணைக்கப் பட்டிருக்கும்,

முதலில் சக்கரம் கையால் சுற்றப்படுகிறது. சக்கரம் சுழலும் போது மின்காந்தங்களின் அருகே உள்ள பற்கள் நகரும். மின்காந்தம் காந்தவிசை பெறும்போது இந்தப் பற்கள் சற்று நகர்த்தப்படும். இதேபோல் சக்கரம் அடுத்தடுத்து தள்ளு விசையை, மின்காந்தத்தின் துடிப்புகளைப் பெறும். இந்தத் துடிப்புகள் இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணிற்குச் சமமாக இருக்கும். இவை போனிக் சக்கரத்தைத் தொடர்ந்து சுழலுமாறு செய்யும். சக்கரத்தின் சுழல் வேகம் குறைந்தால் மின்காந்தத்தில் தோன்றும் காந்தவிசை அதை முடுக்கிவிடும். சக்கரம் சற்று அதிகமாகச் சுழன்றால் அதே மின்காந்தம் அதன் சுழல் வேகத்தைக் குறைத்துவிடும். எனவே, தானே வேகத்தைச் சரி செய்துகொண்டு சக்கரம் மாறா வேகத்துடன் சுழலும். இந்த வேகம் இசைக்கவை யின் அதிர்வெண்ணைப் பொறுத்திருக்கிறது.

அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடல்

சக்கரத்தில் P என்ற எண்ணிக்கை உடைய பற்கள் இருப்ப தாகக் கொள்வோம். சக்கரம் இசைக்கவையின் P அதிர்வுகளுக்கு ஒருமுறை சுழலும். n என்பது இசைக்கவையின் அதிர்வுஎண் ஆனால் P அதிர்வுகளுக்கு அது எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் $\frac{P}{n}$ வினாடிகள். சக்கரம் t வினாடிகளில் m தடவை சுழன்றால் ஒரு சுழற்சிக்கு எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம் $\frac{t}{m}$.

$$\text{ஆகவே, } \frac{t}{m} = \frac{P}{n}$$

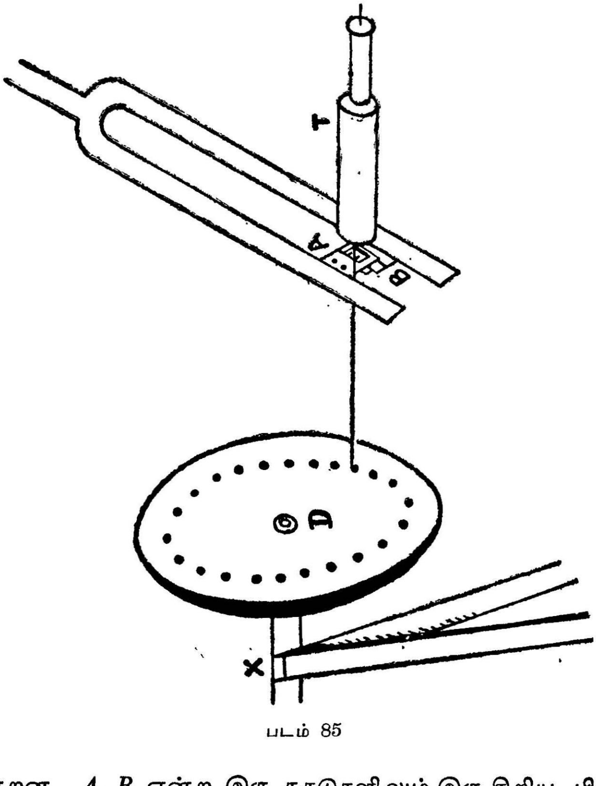
$$n = \frac{mP}{t}$$

சக்கரம் தானே இயங்கும் ஒரு கணிப்பானுடன் (Counter) பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இதனால் t வினாடிகளில் அதன் சுழற்சி எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடலாம். இதிலிருந்து மேலே உள்ள சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி இசைக்கவையின் அதிர்வுஎண் ணைக் கண்டுபிடிக்கலாம். இந்த முறையில் இசைக்கவையின் அதிர்வு எண்ணை மிகத் துல்லியமாகக் கணக்கிட முடியும்.

13·6. ஸ்ட்ரோபாஸ் கோப் (Stroboscope method) முறை

ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப் என்பது ஒரு நகரும் பொருளை நகராமல் நிற்பதுபோல் தோன்றச் செய்யும் ஒரு முறையாகும். இதில் ஒரு உலோக வட்டு D இருக்கிறது. இதன் ஓரத்தில் சம தொலைவு

களில் சம அளவுகள் உடைய சிறிய துளைகள் இருக்கும். இந்த வட்டு ஒரு மோட்டாரினுல் கிடைத்தள அச்சைப் பற்றி (X) சுழலக் கூடும். இதன் சுழல் வேகம் மாற்றப்படக் கூடியது. இதற்கு ஒரு கணிப்பானைப் பொருத்தி இதன் சுழல் வேகத்தைக் கணக்கிடலாம். இதன் எதிர்ப்புறத்தில் ஒரு தொலைநோக்கி T வைக்கப் பட்டிருக்கிறது. தொலைநோக்கி வழியே வட்டத்தைக் காணலாம். வட்டுக்கும் தொலைநோக்கிக்கும் இடையே ஒரு இசைக்கவை வைக்கப்படுகிறது. A, B என்ற இரண்டு மெல்லிய அலுமினியத் தகடுகள் இசைக்கவையின் இரு கால்களுக்கும் பொருத்தப்



படம் 85

படுகின்றன. A, B என்ற இரு தகடுகளிலும் இரு சிறிய பிளவுகள் (Slits) இருக்கும். இசைக்கவை அதிராமல் இருக்கும் பொழுது இந்தப் பிளவுகள் ஒரே நேர்கோட்டில் இல்லாமல் மேலும் கீழும் இருப்பதால் இவை மூடி இருக்கும். இசைக்கவையின் கால்களைச் சற்றே தள்ளினுல் இப்போது பிளவுகள் ஒரே நேர்கோட்டில் வந்து நிற்பதாகத் தெரியும். எனவே இசைக்கவை அதிரும்போது இந்தப் பிளவுகள் வினுடிக்கு எத்தனை முறை மூடித் திறக்கின்றனவோ

அந்த எண்ணிக்கை இசைக் கவையின் அதிர்வெண்ணைத் தரும். இசைக்கவை தொடர்ச்சியாக அதிரவேண்டுமானால் மின்னேட்டத்தால் காப்பிடப்பட்டதாக அமைத்துக் கொள்ளலாம். தொலை நோக்கி, பிளவுகள், ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப் வட்டிலுள்ள துளை ஆகியவை ஒரே நேர்க்கோட்டிலிருக்குமாறு அமைக்கப் படுகின்றன. பிறகு வட்டு சுழற்றப்படுகிறது. அதே நேரத்தில் இசைக்கவை அதிர்வடைய வைக்கப்படுகிறது. வட்டின் சுழல் வேகம் மோட்டாரின் வேகத்தைக் கட்டுப்படுத்தி படிப்படியாக மிகுதிப்படுத்தப்படுகிறது. தொலைநோக்கி வழியாகப் பார்க்கும் போது வட்டிலுள்ள துளைகள் நகராமல் இருப்பதுபோல் தோன்றும்வரை வட்டின் சுழல்வேகம் சரி செய்யப்படுகிறது.

வட்டின் அடுத்தடுத்துள்ள துளைகளின் இடைப்பட்ட தொலைவைக்கடக்க எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம் இசைக்கவையின் அலைவுநேரத்திற்குச் சமமாக இருந்தால்தான் மேலே சொன்னபடி துளைகள் நகராமல் இருப்பதுபோல் தோன்றும். துளைகள் நகராமல் இருப்பதுபோல் தோன்றும் வேகத்திற்குக் குறைவான வேகத்துடன் வட்டு சுற்றினால் அடுத்தடுத்துவரும் துளைகள் பின்னேக்கி நகருவதுபோல் தோன்றும். வட்டின் சுழல்வேகம் சற்று மிகுந்திருந்தால் துளைகள் முன்னேக்கி நகருவதுபோல் தோன்றும். எனவே துளைகள் நகராமல் நிலையாக இருப்பதுபோல் தோன்றும்வரை வட்டின் சுழல் வேகம் துல்லியமாகச் சரி செய்யப் படுகிறது.

கணக்கிடல்: n என்பது இசைக்கவையின் அதிர்வெண் ஆனால் அதன் அலைவுநேரம்,

$$T = \frac{1}{n} \text{ விநாடிகள்.}$$

கணிப்பானால் கணிக்கப்பட்ட சுற்றுகளின் எண்ணிக்கை விநாடிக்கு m ஆனால், ஒரு துளை அடுத்த துளையின் நிலையை அடைவதற்கு எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம்

$$\frac{1}{mp} \text{ விநாடிகள்.}$$

P-என்பது மொத்தத் துளைகளின் எண்ணிக்கை. துளைகள் நகராமல் இருப்பதுபோல் தோன்றும்போது

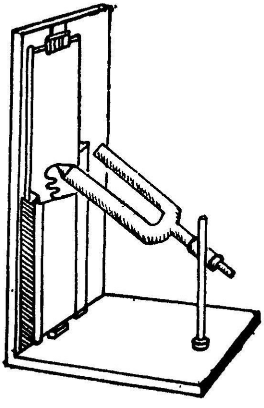
$$\frac{1}{n} = \frac{1}{mp}$$

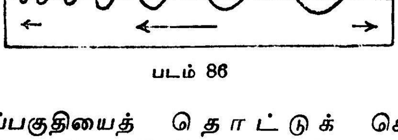
$$\boxed{n = mp}$$

குறிப்பு : வட்டின் சுழல்வேகம் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட நிலைகளில் இருக்கும்போது கூடத் துளைகள் மாறுநிலையில் தெரியும். இப்படித் தெரியும்போது $mp = 2n, 3n, \ldots\ldots$ இதனால் குறைந்த அளவு உள்ள சுழல் வேகத்தைக் கணக்கில் எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும்.

13·7· விழும்தட்டு முறை (Falling Plate Method)

விழும் தட்டுக்கருவியில் ஒரு நீள்சதுரமான கரிப்புகை படிந்த கண்ணாடித்தட்டு இருக்கிறது. இது செங்குத்தாக மேலிருந்து கீழாக ஒரு இசைக்கவையை ஒட்டி விழுமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கும். இந்த இசைக்கவையின் அதிர்வு எண் கண்டுபிடிக்கப் படவேண்டும். F என்ற இசைக்கவையின் ஒருகாலில் மெல்லிய, எடை குறைந்த ஒரு அலுமினிய ஊசி பொறுத்தப்படுகிறது. இந்த இசைக்கவை ஒருசெங்குத்துக்கட்டையில் சாய்வாகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். அலுமினிய ஊசி புகைக்கண்ணாடித்





படம் 86

தட்டின் அடிப்பகுதியைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும். கண்ணாடித்தட்டு கீழ்நோக்கி வேகமாக இறங்குமாறு செய்யப் பட்டால், அலுமினிய ஊசி அதில் ஒரு நேர்க்கோட்டை இழுக்கும். இசைக்கவை அதிர்ந்து கொண்டிருக்கும்போது

கண்ணாடித்தட்டு கீழிறங்கினால் ஊசி அதில் அலைவடிவமான கோட்டை (படம் 86-ல் காட்டியதுபோல்) வரையும். இந்த அலைவடிவக் கோட்டிலிருந்து அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடலாம். பரிசோதனையில் புகைபடிந்த கண்ணாடித்தட்டு மேலே நிறுத்தி வைக்கப்படுகிறது. அலுமினிய ஊசி அதன் அடிப் பாகத்தைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும். இசைக்கவை அதிர வைக்கப்படுகிறது. உடனே கண்ணாடித்தட்டு புவி ஈர்ப்பு விசையால் கீழிறங்குமாறு செய்யப்படுகிறது. தட்டில் அலை வடிவக் கோடு இருக்கும்.

அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடல்

புகைபடிந்த தட்டிலுள்ள அலைவடிவக் கோட்டில் *AB*, *BC* என்ற இருபகுதிகள் தெரிந்தெடுக்கப்படுகின்றன. இந்தப் பகுதிகளில் உள்ள அலைகளின் எண்ணிக்கை a சமமாக இருக்கவேண்டும். தட்டுவிழும்போது *AB* பகுதியைக் கடக்க, எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம் *BC* பகுதியைக் கடக்க எடுத்துக்கொள்ளும் நேரத்திற்குச் சமமாக இருக்கும். *AB* அல்லது *BC* தொலைவைக் கடக்க எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம் $\frac{a}{n}$. [a என்பது *AB* பகுதியிலுள்ள அலைகளின் எண்ணிக்கை.]

AB, *BC* பகுதிகளின் தொலைவு முறையே S_1, S_2 ஆக இருக்கட்டும். இவை ஒரு நுண்ணோக்கியால் அளக்கப்படுகின்றன. *A* புள்ளியில் ஊசி இருக்கும்போது u என்பது தட்டின் (விழும்) வேகமானால்,

$$S_1 = ut + \tfrac{1}{2} gt^2 \qquad \ldots\ldots(1)$$

$$S_1 + S_2 = u(2t) + \tfrac{1}{2} g(2t)^2 \qquad \ldots\ldots(2)$$

(1) லிருந்து,

$$2S_1 = 2ut + gt^2 \qquad \ldots\ldots(3)$$

(2) லிருந்து (3) ஐக் கழிக்க,

$$S_2 - S_1 = \tfrac{1}{2} g\, 4t^2 - gt^2$$

$$= gt^2$$

$$\text{அல்லது } t = \sqrt{\frac{S_2 - S_1}{g}}$$

$$\text{ஆனால் } t = \frac{a}{n}$$

$$\text{எனவே } \frac{a}{n} = \sqrt{\frac{S_2 - S_1}{g}}$$

$$\text{அல்லது } \boxed{n = a\sqrt{\frac{g}{S_2 - S_1}}}$$

இந்த முறையில் அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

எடுத்துக் காட்டுகள்

1. 1 மீட்டர் நீளமுள்ள ஒரு செப்புத்தண்டு அதன் நீளத்தில் 4-ல் ஒருபங்கு உள்ள ஒரு புள்ளியில் பிடிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது நெட்டலை வகையில் அதிரும்போது ஒரு குண்ட்குழலில் $300°$ A-ல் நிலையான அலைகளைத் தோற்றுவிக்கின்றது. குழலினுள் $0 \cdot 0495$ மீட்டர் இடைத்தொலைவுகளில் தக்கைத் துகள்கள் குவிகின்றன. செப்புத்தண்டில் ஒலியின் வேகம் என்ன? காற்றில் ஒலியின் வேகம் $0°C$-யில் விஞடிக்கு 332 மீட்டர்.

1 மீட்டர் செப்புத்தண்டு $\frac{1}{4}$ பகுதியில் பிடிக்கப்பட்டிருப்பதால், அந்தப்புள்ளி ஒரு கணுவாக இருக்கும். எனவே,

1 மீட்டர் = செப்புத்தண்டில் அலைநீளம்.

$$\lambda x = 1 \text{ மீட்டர்.}$$

$$\text{காற்றில் அலைநீளம் } \lambda e = 2 \times 0 \cdot 0495$$

$$= 0 \cdot 099 \text{ மீட்டர்.}$$

காற்றில் $0°C$-ல் ஒலி வேகம் $=$ 332 மீட்டர்/விஞடி.

$$300° \text{ A ல் ஒலிவேகம்} = 332 \times \sqrt{\frac{300}{273}}$$

V_r, V_a என்பவை முறையே செப்புத்தண்டு, காற்று ஆகியவற்றில் ஒலிவேகம் என்ருல்

$$\frac{V_r}{V_a} = \frac{\lambda_r}{\lambda_a}$$

$$V_r = V_a \cdot \frac{\lambda_r}{\lambda_a}$$

$$= 332\sqrt{\frac{300}{273}} \times \frac{1}{\cdot 099}$$

$$= 3515 \text{ மீட்டர்/விஞடி.}$$

செப்புத்தண்டில் ஒலியின் வேகம் விஞடிக்கு 3515 மீட்டர் ஆகும்.

2. ஒரு குண்ட் குழல் பரிசோதனையில் 0·6 மீட்டர் நீளமுள்ள ஒரு பித்தளைத்தண்டு அதன் நடுப்புள்ளியில் பிடிக்கப் படுகிறது. குழலில் 0·692 மீட்டர் நீளத்தில் 13 கணுக்கள் தோன்றுகின்றன. (a) பித்தளையில் ஒலியின் வேகம் (b) பித்தளை யின் யங்கின் குணகம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடு. பித்தளையின் அடர்த்தி 8500 கி. கிராம்/கன மீட்டர். காற்றில் ஒலியின் வேகம் 340 மீட்டர்/வினடி.

0·6 மீட்டர் நீளமுள்ள துண்டு நடுவில் பிடிக்கப்பட்டிருப்ப தால் அதன் முனைகள் எதிர்க்கணுக்களாக அமையும். எனவே,

$$\lambda_r = 2l = 2\times 0\cdot 6 = 1\cdot 2 \text{ மீட்டர்.}$$

காற்றில் இருகணுக்களுக்கிடையே உள்ள சராசரித் தொலைவு

$$\left(\frac{\lambda_a}{2}\right) = \frac{0\cdot 692}{12}$$

$$\lambda_a = \frac{0\cdot 692}{6}$$

V_r, V_a-என்பவை முறையே தண்டு, காற்று ஆகியவற்றில் ஒலி வேகங்களானல்,

$$\frac{V_r}{V_a} = \frac{n\lambda_r}{n\lambda_a} = \frac{1\cdot 2}{0\cdot 692/6} = \frac{7\cdot 2}{0\cdot 692}$$

$$V_r = V_a\cdot\frac{7\cdot 2}{0\cdot 692}$$

$$= 340 \times \frac{7\cdot 2}{0\cdot 692} \quad [\because V_a = 340 \text{ மீட்டர்/வினடி}$$

$$= 3538 \text{ மீட்டர்கள்/வினடி}$$

(b) யங்கின் குணகம்

$$V_r = \sqrt{\frac{q}{\rho}}$$

$$q = V_r^2\cdot\rho$$

$$= (3538)^2 \times 8500$$

$$= 10\cdot 64\times 10^{10} \text{ நியூட்டன்/மீட்டர்}^2$$

3. ஒரு ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப் வட்டில் 20 துளைகள் உள்ளன. இதை ஒரு இசைக்கவையோடு ஒத்திருக்குமாறு அதன் சுழற்சி சரி செய்யப்படுகிறது. அது 156·4 விடிைகளில் 1500 முறை சுற்றினல் இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடி.

இங்கு $p = 20$

$$m = \frac{1500}{156 \cdot 4} \text{ சுற்றுகள்/விநாடி.}$$

அதிர்வெண் $n = mp = \frac{1500}{156 \cdot 4} \times 20$

$= 191 \cdot 8$ அதிர்வுகள்/விநாடி.

இசைக்கவையின் அதிர்வெண் $= 191 \cdot 8$ அதிர்வுகள்/விநாடி

4. ஒரு ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப் வட்டு விநாடிக்கு 40 முறை சுற்றுகிறது. இதில் 20 துளைகள் உள்ளன. இதை அதிரும் ஒரு இசைக்கவையோடு பார்க்கும்போது 3 விநாடிக்கு ஒரு துளைவீதம் பின்னோக்கிச் செல்வதாகத் தெரிகிறது. இசைக்கவையின் அதிர்வு எண் என்ன ?

20 துளையுள்ள வட்டு விநாடிக்கு 40 முறை சுழலுவதால் ஒரு துளை அதற்கு முந்திய துளையுள்ள நிலைக்கு வருவதற்கு எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் $\frac{1}{40} \times \frac{1}{20} = \frac{1}{800}$ விநாடிகள். இது இசைக்கவையின் $\frac{1}{2}$ அலை நேரத்திற்குச் சமம். எனவே,

$$\frac{T}{2} = \frac{1}{800}$$

$$\frac{1}{2n} = \frac{1}{800}$$

$\therefore n = 400$ அதிர்வுகள்.

இங்கு 3 விநாடிகளுக்கு ஒரு துளைவீதம் பின்னோக்கி செல்வதாகத் தெரிகிறது. இதனால் வட்டு இசைக்கவையை விட சிறிது மெதுவாக இயங்குகிறது எனத்தெரியும். எனவே ஒரு துளை பின்னோக்கி நகர எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம்

$$= \frac{1}{3} \times \frac{1}{20} \times \frac{1}{40} = \frac{1}{2400}$$

இந்த நேரத்தில் தோன்றும் அதிர்வுகள் $= \frac{400}{2400} = \frac{1}{6}$

எனவே இசைக்கவையின் சரியான அதிர்வெண்

$= 400 + \frac{1}{6}$

$= 400 \cdot 166$ அதிர்வுகள்/விநாடி.

5. ஒரு விழும்தட்டு பரிசோதனையில், தட்டு நிலையில் இருந்து $0 \cdot 05$ மீட்டர் தொலைவு விழுகிறது. அடுத்த $0 \cdot 15$

மீட்டரில் ஒரு இசைக்கவையில் 25 அலைவுகள் தோற்றுவிக்கப் பட்டன. இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடி.

0·05 மீட்டர் விழ t_1 விநாடியும், $(0\cdot05+0\cdot15) = 0\cdot2$ மீட்டர் விழ t_2 விநாடியும் எடுத்துக் கொள்ளட்டும்.

$$0\cdot05 = \tfrac{1}{2} \times 9\cdot81 \times t_1^2$$

$$\cdot20 = \tfrac{1}{2} \times 9\cdot81 \times t_2^2$$

$$\therefore t_1 = \sqrt{\frac{0\cdot1}{9\cdot81}}$$

$$t_2 = 2\sqrt{\frac{0\cdot1}{9\cdot81}}$$

∴ அடுத்த ·15 மீட்டர் விழ நேரம்

$$t_2 - t_1 = 2\sqrt{\frac{0\cdot1}{9\cdot81}} - \sqrt{\frac{0\cdot1}{9\cdot81}}$$

$$= \sqrt{\frac{0\cdot1}{9\cdot81}} \text{ விநாடிகள்.}$$

இந்த நேரத்தில் 25 அலைவுகள் தோன்றுகின்றன.

∴ 1 விநாடியில் தோன்றும் அதிர்வுகள்.

$$n = \frac{25}{\sqrt{\frac{0\cdot1}{9\cdot81}}} = 25\sqrt{\frac{981}{10}} = 247\cdot6.$$

இசைக்கவையின் அதிர்வெண் = 247·6

வினாக்கள்

1. ஹெப்பின் முறையில் காற்றில் ஒலியின் வேகத்தை எவ்வாறு கண்டுபிடிக்கலாம் ?

2. குண்ட் குழலைப் பயன்படுத்தி ஒரு உலோகத்தண்டில் ஒலியின் வேகத்தை எப்படிக் காணலாம் ?

3. ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப் முறையில் ஒரு இசைக்கவையின் அதிர்வு எண்ணை கண்டுபிடிப்பது எப்படி ?

4. ஒரு இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடிக்க ஃபோனிக் சக்கர முறையை விவரித்து எழுது. அதில் ஸ்ட்ரோ பாஸ்கோப் முறையைவிட உள்ள நன்மைகள் யாவை ?

5. விழும் தட்டு முறையில் ஒரு இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடிப்பது எப்படி என்பதை விளக்கு.

6. ஒரு வாயுவின் இரு வெப்ப எண்களின் தகவைக் கண்டு பிடிக்க குண்ட் குழலை எவ்வாறு பயன்படுத்தலாம்?

7. ஒரு உலோகத்தண்டு அதன் நடுப்பகுதி பிடிக்கப்பட்டு குண்ட்குழல் பரிசோதனையில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. தண்டு நெட்டலை வகையில் அதிரும்போது முதல்கணுவுக்கும் 10-வது கணுவுக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு 1·5 மீட்டர். காற்றில் ஒலியின் வேகம் வினாடிக்கு 330 மீட்டர் என்றால் உலோகத்தண்டு எழுப்பும் ஒலியின் அதிர்வு எண் என்ன?

8. ஒரு ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப்பில் 16 துளைகள் உள்ளன. அதிரும் இசைக்கவையோடு பார்க்கும்போது சுழலும் வட்டில் துளைகள் நிலையாய் உள்ளன. வட்டு 192 வினாடிகளில் 3072 முறை சுற்றுகிறது. இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடி.

9. ஒரு இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடிக்க ஆளும் பல முறைகளை எழுது.

10. குண்ட்குழல் முறையில் வெவ்வேறு வாயுக்களில் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடும் முறையை விளக்கி எழுது. இதைக் கொண்டு வாயுவின் வெப்ப எண்களின் தகவை எவ்வாறு கண்டு பிடிக்கலாம்?

14. டாப்ளர் விளைவு

(Doppler Effect)

14.1. நாம் ஒரு புகைவண்டி நிலையத்தில் நிற்கும்போது ஒரு புகைவண்டி என்ஜின் விசில் ஊதிக்கொண்டு நம்மை நோக்கி வருவதாகக் கொள்வோம். அப்போது விசில் ஒலியின் சுருதி அதிகமாகிக் கொண்டே போவதுபோல் தோன்றும். என்ஜின் நம்மைக் கடந்து, நம்மை விட்டுத் தள்ளிப்போய்க்கொண்டிருக்கும்போது ஒலியின் சுருதி குறைந்துகொண்டே போவதுபோல் தோன்றும்.

என்ஜின் நிலையாக நின்றுகொண்டு விசில் ஊதிக்கொண்டு இருக்கும்போது நாம் அதை நோக்கிச் சென்றால் விசில் ஒலியின் சுருதி மிகுவது போலவும், என்ஜினைவிட்டு விலகிச் செல்லும்போது ஒலியின் சுருதி குறைவது போலவும் தோன்றும். உண்மையில் என்ஜின் விசில் ஒலியின் சுருதி மாறாமலே இருக்கும்.

பொதுவாக ஒலியின் மூலத்திற்கும் (Source of the Sound) ஒலி வாங்கிக்கும் (Observer or Receiver of the Sound) இடையே ஒரு ஒப்புமை இயக்கம் (Relative motion) இருந்தால் ஒலியின் சுருதி மாறுவதாகத் தோன்றும். இது ஒரு தோற்றமே. இந்த சுருதி மாற்றத்திற்கு அல்லது ஒலியின் அதிர்வு எண் (Frequency) மாறுவதுபோல் தோன்றும் விளைவுக்கு ''டாப்ளர் விளைவு'' எனப் பெயர். இதை டாப்ளர் என்பவர் நீண்ட காலத்திற்கு முன்பே கண்டுபிடித்துள்ளார்.

அதிர்வு எண்ணில் தோன்றும் மாற்றம் ஒலி மூலத்திற்கும், ஒலி வாங்கிக்கும் இடையே உள்ள ஒப்புமை வேகத்தைப் (Relative Velocity) பொருத்து அமையும்.

14·2. ஒலி மூலம் (Source of the Sound) இயக்கத்திலும் ஒலி வாங்கி (Listener or Receiver) யும் ஊடகமும் நிலையில் இருக்கும் போது

துவக்கத்தில் S என்பது ஒலி மூலமாகவும் L என்பது கேட்பவராகவும் இருக்கட்டும். ஒலியின் அதிர்வு எண் n, கேட்பவரை நோக்கி ஒலி விரையும் திசை வேகம் v, ஒலிமூலம் கேட்பவரை நோக்கிச் செல்லும் வேகம் (Velocity of the Source) a எனவும் கொள்வோம்.

ஒலி மூலம் நிலையாக இருந்தால் ஒரு விநாடியில் n அலைகள் v மீட்டர் தொலைவு பரவும். ஆனால் ஒரு விநாடிக்கு a மீட்டர் தொலைவு ஒலி மூலம் கேட்பவரை நோக்கி நகருவதால் அதே விநாடியில் n அலைகள் v மீட்டரைவிடக் குறைந்த $(v\text{-}a)$ மீட்டர் தூரம் பரவும். அதனால் அலையின் நீளம் குறைந்துவிடும்.

ஒலி மூலம் நிலையாக இருந்தால் அலைநீளம் $\Big\} = \lambda = \dfrac{v}{n}$

ஒலி மூலம் நகரும்போது அலைநீளம் $\Big\} = \lambda^1 = \dfrac{v-a}{n}$

கேட்பவர் ஒரு விநாடியில் வாங்கும் அலைகளின் எண்ணிக்கை அல்லது தோற்ற அதிர்வு எண்

$$n^1 = \frac{v}{\text{புதிய அலைநீளம்}} = \frac{v}{\lambda^1}$$

λ^1 க்கு அதன் மதிப்பைப் போட்டால்

$$n^1 = \frac{v}{v-a}\,n$$

$$n^1 = \frac{v\,n}{v-a} \text{ (ஒரு விநாடிக்கு)} \qquad \ldots\ldots (1)$$

ஒலி மூலம் கேட்பவரை விட்டு விநாடிக்கு a மீட்டர் வேகத்தில் விலகிச் சென்றால் a எதிர்க்குறி (Negative Sign) உடையதாக இருக்கும். ஆகவே தோற்ற அதிர்வு எண்

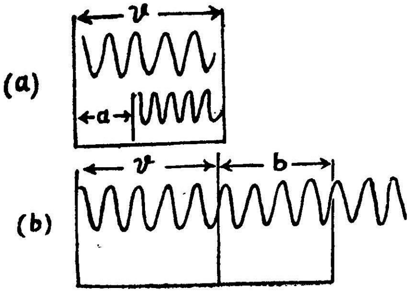
$$n^1 = \frac{v\,n}{v+a} \text{ (ஒரு விநாடிக்கு)} \qquad \ldots\ldots (2)$$

ஒலி மூலம் கேட்பவரைத் தாண்டிச் செல்லும்போது அதிர்வு எண்ணின் வீழ்ச்சி (Drop in frequency)

$$= \frac{vn}{(v-a)} - \frac{vn}{(v+a)}$$

$$= vn \cdot \frac{2a}{(v^2-a^2)}$$

$$\boxed{= \frac{2va}{v^2-a^2} \cdot n \text{ (ஒரு விநாடிக்கு)}} \qquad \text{...... (3)}$$



படம் 87

14·3. கேட்பவர் இயக்கத்திலும், ஒலி மூலமும், ஊடகமும், நிலையாக இருக்கும்போது

கேட்பவர் விநாடிக்கு b மீட்டர் திசைவேகத்தில் நிலையாக உள்ள ஒலி மூலத்தை நோக்கிச் செல்வதாகக் கொள்வோம். இப்போது அலைகள் நெருக்கப்பட மாட்டா. ஆனால் கேட்பவரின் காதில் ஒவ்வொரு விநாடியும் v மீட்டர் நீளத்தில் n அலைகளும், அதே விநாடியில் b மீட்டர் நீளத்தில் $\frac{b}{\lambda}$ அலைகளும் மோதுகின்றன.

ஆகவே அதிர்வு எண்ணில் தோன்றும் உயர்வு $= \frac{b \cdot n}{v}$

இப்போது கேட்கப்படும் ஒலியின் அதிர்வு எண்

$$n^1 = n + \frac{b \cdot n}{v}$$

$$= n\left(1 + \frac{b}{v}\right)$$

$$= \frac{v+b}{v} \cdot n$$

$$n^1 = n.\left(\frac{v+b}{v}\right) \text{ (ஒரு வினாடிக்கு)} \qquad \ldots\ldots(4)$$

கேட்பவர் ஒலி மூலத்தை விட்டு விலகிச் சென்றால் b எதிர்க்குறி உடையதாக இருக்கும். ஆகவே தோற்ற அதிர்வு எண்

$$n^1 = n.\left(\frac{v-b}{v}\right) \text{ (ஒரு வினாடிக்கு)} \qquad \ldots\ldots(5)$$

கேட்பவர் ஒலி மூலத்தைத் தாண்டிச் செல்லும்போது அதிர்வு எண்ணில் வீழ்ச்சி

$$= \left(\frac{v+b}{v}\right)\cdot n - \left(\frac{v-b}{v}\right).n$$

$$= n.\frac{2b}{v} \text{ ஒரு வினாடிக்கு} \qquad \ldots\ldots(6)$$

14·4. ஒலிமூலம், கேட்பவர், இரண்டும் இயக்கத்திலும், ஊடகம் நிலையாகவும் இருக்கும்போது,

மேலே கண்ட இரு முடிவுகளையும், ஒன்றுடன் ஒன்று பொருத்தி, ஒலிமூலம், கேட்பவர் இரண்டும் இயக்கத்தில் இருக்கும்போது சுருதியில் தோன்றும் அதிர்வு எண் மாறுபாட்டிற்கான கோவையைக் (Expression) காணலாம்.

இடமிருந்து வலமாக இயங்கும்போது ஒலி மூலத்தின் திசைவேகம் வினாடிக்கு a மீட்டர் எனவும், கேட்பவரின் திசைவேகம் வினாடிக்கு b மீட்டர் எனவும், கொள்வோம்.

கேட்பவர் நிலையிலும், ஒலிமூலம் இயக்கத்திலும் இருக்கும் போது முன்பு கண்டபடி,

$$n^1 = \frac{v}{v-a}.n \qquad \text{[சமன்பாடு (1)ன்படி]}$$

கேட்பவரும், ஒலி மூலத்திலிருந்து விலகி வலது புறமாகவே செல்லும்போது, தோற்ற அதிர்வு எண்

$$n^{11} = \frac{v-b}{v}.n^1 \qquad \text{[சமன்பாடு (4)ன்படி]}$$

இதில் n^1க்கு மதிப்பைப் பொருத்தினால்

$$n^{11} = \frac{(v-b)}{v} \cdot \frac{v}{(v-a)} \cdot n$$

$$\boxed{n^{11} = \frac{v-b}{v-a} \cdot n} \qquad \ldots\ldots(7)$$

இதே போல் காரணங்காட்டி கேட்பவர் ஒலி மூலத்தை நோக்கி வினாடிக்கு b மீட்டர் வேகத்தில் செல்லும்போது தோற்ற அதிர்வு எண்.

$$\boxed{n^{11} = \frac{v+b}{v-a} \cdot n} \qquad \ldots\ldots(8)$$

குறிப்பு : ஒலி மூலமும், கேட்பவரும் சமமான வேகத்தில் வலமாக விரைந்தால், $a = b$ என ஆகும். சமன்பாடு (7) ல் இருந்து இந்த நிலையில் அதிர்வு எண்ணில் மாற்றம் இல்லை எனக் காணலாம்.

இதனால்தான் புகை வண்டிக்குள் உட்கார்ந்திருக்கும் மனிதன் அதே புகைவண்டி எந்த வேகத்தில் சென்றாலும், அதன் விசில் ஒலியின் சுருதியில் எந்த மாற்றமும் காண்பதில்லை.

14·5. ஒலியின் சுருதியில் காற்றினால் விளையும் மாற்றம்

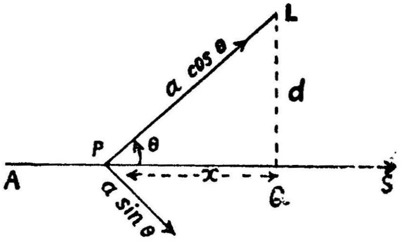
இதுவரை நாம் கண்ட சமன்பாடுகள் (1)-ல் இருந்து (8) ஊடகம்—ஒலிவிரையும் பொருள்—காற்று நிலையாக இருப்பதாகக் கொண்டுள்ளோம். ஆனால் காற்று ஒலி விரையும் திசையிலோ, அல்லது எதிர்த் திசையிலோ ஒரு குறிப்பிட்ட திசைவேகம் ω உடன் நகர்ந்து கொண்டிருந்தால் ஒலியின் திசைவேகம் $v \pm \omega$ என ஆகும். ஆகவே சமன்பாடு (7)-ன் படி தோற்ற அதிர்வு எண்

$$\boxed{n^1 = \frac{(v \pm w)-b}{(v \pm w) - a}\ n} \qquad \ldots\ldots (9)$$

14·6. டாப்ளர் விளைவின் ஒரு பொதுமுறை (General Treatment)

ஒலி மூலமும், கேட்பவரும் ஒரே நேர்க் கோட்டுத் திசையில் செல்லாமல் வெவ்வேறு திசைகளில் செல்லும் ஒரு நிலையை எடுத்துக் கொள்வோம். *APQ* என்ற நேர்க் கோட்டில் (படம் 88) ஒலிமூலம் (Source of the Sound) வினாடிக்கு a மீட்டர் வேகத்தில்

செல்வதாகக் கொள்வோம். கேட்பவர் L என்ற புள்ளியில் இருக்கட்டும். P என்ற ஏதாவதொரு புள்ளியில் L-ஐ நோக்கி ஒலி மூலத்தின் திசை வேகம் $a \cos \theta$ ஆகும். θ என்பது LP, PQ ஆகியவற்றிற்கு இடையேயுள்ள கோணமாகும்.



படம் 88

L என்ற புள்ளியில் இருந்து கேட்பவருக்குக் கேட்கும் ஒலியின் அதிர்வு எண்

$$n^1 = \frac{v}{v - a \cos \theta} n$$

Q என்ற புள்ளியை ஒலிமூலம் தாண்டிச் சென்ற பிறகு ஒலியின் அதிர்வு எண்

$$n^1 = \frac{v}{v + a \cos \theta} \cdot n$$

பொதுவாக

$$n^1 = \frac{v}{v \pm a \cos \theta} \cdot n$$

படத்திலிருந்து $\cos \theta = \frac{x}{(x^2 + d^2)^{\frac{1}{2}}}$

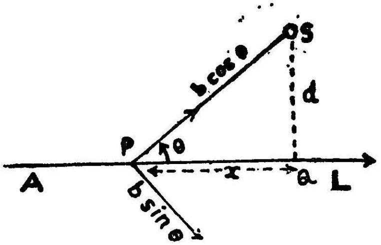
ஆகவே

$$n^1 = \frac{v\,n}{v \pm \frac{ax}{\sqrt{x^2 + d^2}}}$$

$$n^1 = \frac{n}{\left[1 \mp \frac{ax}{v\,(x^2 + d^2)^{\frac{1}{2}}}\right]} \qquad \ldots\ldots(11)$$

இதே போல் நிலையிலிருக்கும் ஒலி மூலத்தைக் கடந்து கேட்பவர் செல்லும்போது ஒலியின் சுருதியில் மாறுபாடு தோன்றும். APQ

என்ற கோட்டில் (படம் 89) கேட்பவர் விநாடிக்கு b மீட்டர் வேகத்தில் விரைவதாகக் கொள்வோம். S என்பது நிலையில் உள்ள ஒலிமூலம். P என்ற புள்ளியில் கேட்பவர் இருக்கும்போது S ஐ நோக்கித் திசை வேகம் $b = \cos\theta$ ஆகும். ஆகவே தோற்ற அதிர்வு எண்



படம் 89

$$n^1 = \frac{v + b\cos\theta}{v} \cdot n$$

கேட்பவர் L, Q, என்ற புள்ளியைத் தாண்டிச் செல்லும் போது b யின் குறி மாறுகிறது. ஆகவே

$$n^1 = \frac{v - b\cos\theta}{v} \cdot n$$

பொதுவாக $$n^1 = \frac{v \pm b\cos\theta}{v} \cdot n$$

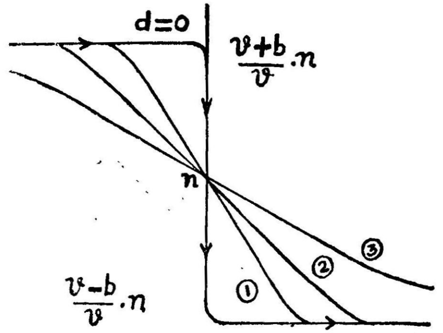
$$= n\left(1 \pm \frac{b\cos\theta}{v}\right)$$

ஆனால் படத்திலிருந்து $\cos\theta = \dfrac{x}{(d^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}}$

$$\therefore n^1 = n\left[1 \mp \frac{b\,x}{v\,(x^2 + d^2)^{\frac{1}{2}}}\right] \qquad (12)$$

b, v, n ஆகியவற்றை மாறிலியாகக் கொண்டு தோற்ற அதிர்வு எண்ணுக்கும் (n^1), தொலைவு x-ற்கும் ஒரு வரைபடம் வரைந்தால்

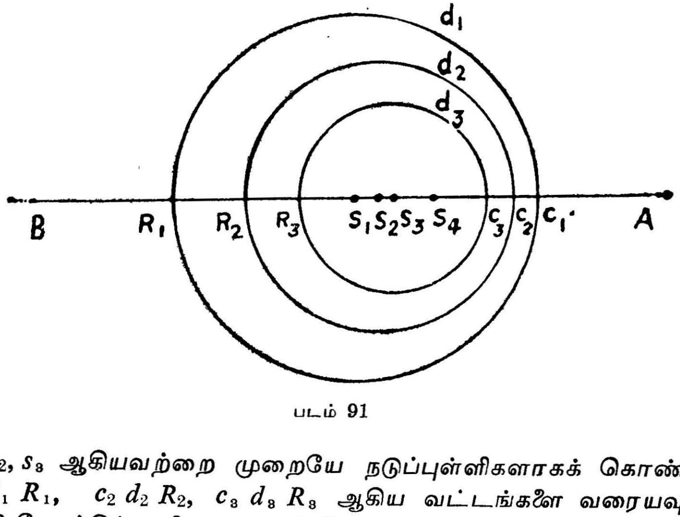
கீழ்க்காணும் படத்திலுள்ளபடி நமக்கு வரைபடம் கிடைக்கும். (படம் 90.)



படம் 90

14·7 டாப்ளர் விளைவில் அலை முகங்களின் (wave fronts) வரை பட எடுத்துக் காட்டு

s_1, s_2, s_3 என்பவை ஒரு ஒலி மூலத்தின் $o, t, 2t$ நேரங்களில் நிலைகள் (position) ஆகும். v என்பது அலையின் திசை வேகமாக இருக்கட்டும். இது ஒலி மூலத்தின் வேகம் a-ஐ விட வேக மானது. $3tv$, $2tv$, tv ஆகியவற்றை ஆரங்களாகக் கொண்டு



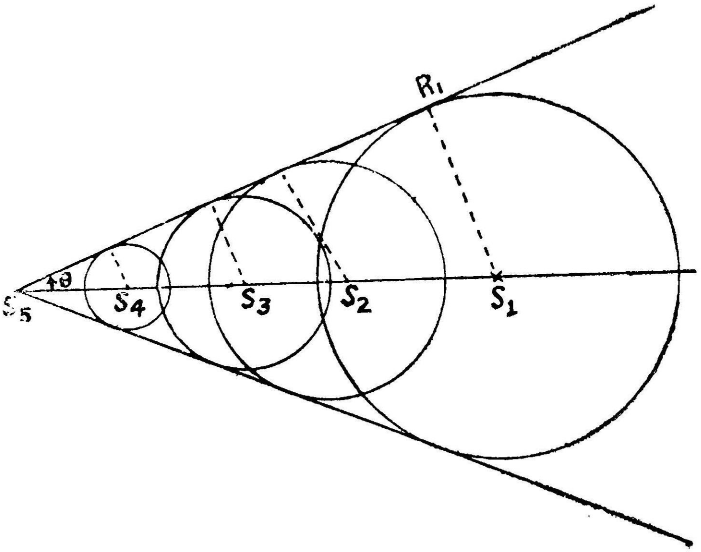
படம் 91

s_1, s_2, s_3 ஆகியவற்றை முறையே நடுப்புள்ளிகளாகக் கொண்டு, $c_1\ d_1\ R_1$, $c_2\ d_2\ R_2$, $c_3\ d_3\ R_3$ ஆகிய வட்டங்களை வரையவும். $t=O$ நேரத்தில் ஒலிமூலம் s_1 ல் இருக்கிறது. இப்போது தொடங்கிய ஒலி அலையின் பரப்பை (Wave Surface) $3t$ நேரத்தில் $c_1\ d_1\ R_1$

குறிக்கிறது. இதேபோல் $c_2 d_2 R_2$, $c_3 d_3 R_3$ ஆகியவை 3t நேரத்தில் ஒலிமூலம் s_2, s_3 நிலைகளில் இருக்கும்போது அலை பரப்பைக் குறிக்கின்றன. ஆகவே வலதுபுறத்தில் அலைகள் நெருங்கியும், இடதுபுறத்தில் விலகியும் உள்ளன. எனவே வலதுபுறத்தில் A-யிலிருந்து கேட்பவருக்கு, ஒலி மூலம் அவரை நெருங்கும்போது (Approach) ஒலியின் சுருதியில் ஒரு ஏற்றம் இருக்கும். அதே நேரத்தில் இடது புறத்தில் B-யிலிருந்து கேட்பவருக்கு சுருதியில் ஒரு இறக்கம் அல்லது குறைவு இருக்கும். ஒலி மூலத்தின் திசை வேகம் ஒலியின் வேகத்தைவிட குறைவாக இருக்கும் வரை அதிலிருந்து (ஒரு வினாடிக்கு) வெளிப்பட்டுக் கேட்பவரை அடையும் அலைகளின் எண்ணிக்கை டாப்ளர் விளைவுக்கு உட்பட்டு செயல்படும். இங்கு இறுக்கக் கோளங்கள் (Sphere of compression) ஒலியின் திசை வேகத்தில் விரிவடைகின்றன. ஆனால் இதே கோளங்கள் வளரும் வேகத்தைவிட குறைவான வேகத்தில் ஒலி மூலம் நகருகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் நகரத் துவங்கும் ஒரு ஒலி அலை அடுத்தடுத்து தோன்றும் ஒலி அலைப் பரப்புகளுக்கு முழுவதும் வெளியே தான் இருக்கும்.

14·8. ஒலியைவிட வேகத்தில் செல்லும் அலை முகங்கள் (Wave Fronts in Supersonic Speeds)

ஒலியின் வேகத்தைவிட ஒலிமூலத்தின் வேகம் மிகுதியாக இருக்கும்போது டாப்ளர் கொள்கை பயனில்லாதது. எடுத்துக்



படம் 92

காட்டாக துப்பாக்கிக் குண்டின் இயக்கத்தைக் கூறலாம். அதன் வழியில் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் துப்பாக்கிக் குண்டு அதைச்சுற்றி இறுகும் கோளங்களைத் (Spheres of Compression) தோற்றுவிக்கிறது. இவை ஒலியின் வேகத்தில் விரிந்து செல்லு கின்றன. ஆனால் அதே துப்பாக்கிக்குண்டு ஒலியின் வேகத்தை விட மிகுதியான வேகத்தில் செல்லுகிறது. ஆகவே அடுத்துவரும் அலைப்பரப்பு முழுவதும் அல்லது அதன் பகுதி வெளியே இருக்கும். இதனால் அலைமுகம் ஒரு கூம்புபோல் அமையும். இத்தகைய ஒரு அலைமுகத்தைப் படம் காட்டுகிறது. (படம் 92). இந்த முடிவை நாம் வரைபட முறையிலும் காணலாம். முன் போல் S_1, S_2, S_3 ஆகியவை முறையே $O, t, 2t$ நேரங்களில் ஒலி மூலத்தின் நிலைகளாக (Positions) இருக்கட்டும் S_1, S_2, S_3 ஆகிய வற்றை நடுப்புள்ளியாகவும், $4tv$, $3tv$, $2tv$ ஆகியவற்றை ஆரங் களாகவும் கொண்டு வட்டங்கள் வரையவும். எந்த ஒரு கணத்திலும் இந்த அலைப்பரப்புகளுக்கு (Wave Surfaces) தொடு கோடு வரையலாம். இந்த தொடுகோட்டின் வழியே அலைப் பரப்புகள் ஒன்றுடன் ஒன்று சேர்ந்திருக்கும். மற்ற இடங்களில் அவை ஒன்றுக்கொன்று குறுக்கிடும். இதனால் இரு சாய்ந்த தள அலைகள் (Plane Waves) தோன்றும். இரு தள அலைகளுக்கும் இடையே உள்ள கோணம் 2θ ஆகும்.

$$\sin\theta = \frac{S_1 R_1}{S_1 S_5} = \frac{4tv}{4ta} = \frac{v}{a}$$

இதன் தலைகீழ் மதிப்பு $\left(\frac{a}{v}\right)$ மாக் எண் (Mach number) எனப் படும். $a=v$ ஆகும்போது மாக் எண் 1 ஆகும். கோணம் θ, மாக் கோணம் எனப்படும். இந்தக் கூம்பு மாக்கூம்பு (Mach cone) எனப்படும். இந்தக் கூம்பு செயல் மண்டலத்தையும் (Zone of action) அமைதி மண்டலத்தையும் (Zone of Silence) பிரிக்கிறது. இங்கு ஒரு பொருளின் ஒலியைவிடக் குறைந்த வேகத்திற்கும் (Subsonic Speed), ஒலியினும் மிகுந்த வேகத்திற்கும் (Supersonic) இடையே உள்ள அடிப்படை வேறுபாடு நன்கு அறியத்தக்கது. இதற்கு முந்திய பிரிவில், ஒலியைவிடக் குறைந்த வேகத்தில் செல் லும்பொருளின் இயக்கம் பொருளைச் சுற்றியுள்ள இடத்தில் எல்லாப் புள்ளிகளையும் (அது தொலைவைப் பொறுத்து குறைந் தால் கூட) அடையும் எனக் கண்டோம்.

ஒலியினும் மிகுந்த வேகத்தில் செல்லும் பொருளால் தோன்றும் இயக்கம், மாக் கூம்புக்கு உள்ளேயே தான் இருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக ஒருவரின் தலைக்கு மேலே ஒரு துப்பாக்கித்

குண்டு ஒலியினும் மிகுந்த வேகத்தில் விரைந்தால், அது கடந்து சென்றபின்தான் அதன் ஒலி அவருக்குக் கேட்கும்.

14·9. ஒலியினும் கடுகிச் செல்லும் வானஊர்தி (Supersonic Air Craft)

வானஊர்தித் துறையில் இரண்டாம் உலகப்போரின்போது மிகுந்த முன்னேற்றங்கள் தோன்றின. மிகப்பெரிய வானஊர்திகளும் மிக விரைவாகச் செல்லும் வான ஊர்திகளும் தோற்றுவிக்கப்பட்டன. வான ஊர்தியின் வேகம் ஒலியின் வேகத்தை நெருங்கும்போது சில தேவையற்ற தடங்கல்கள் ஏற்பட்டன. வானஊர்தி ஒலி வேகத்தை நெருங்கும்போது பின்னோக்கித் தள்ளும் தடை (Drag) அதிகரிக்கிறது. வான ஊர்தியின் கட்டுப்பாட்டுக்குள் அடங்குவதில்லை. இவ்வாறு ஒலி வேகத்தில் செல்லும் வான ஊர்திக்கு ஏற்படும் தடங்கல் ''ஒலித்தடுப்பு'' (Sound Barrier) எனப்படும். இந்தத் துறையில் செய்யப்பட்ட ஆராய்ச்சிகள் இந்த ஒலித்தடுப்புக்கான காரணங்களைக் கண்டறிந்தன. ஊர்தி ஒலி வேகத்தில் செல்லும்போது அதை ஒட்டித் தோன்றும் இறுக்க அலைகள் (Compressional Waves) ஊர்தியில் இருந்து தள்ளிப்போக முடிவதில்லை. இவை வான ஊர்தியின் இயக்கத்திற்குத் தடையாய் இருக்கின்றன. இதனல் வான ஊர்தியின்மேல் ஒருவித தகைவும், திரிபும் ஏற்படுகின்றன. இந்த இறுக்க அலைகள் மிகுந்த ஒலியை உண்டாக்கும். இவை ஒலி வெடிகள் (Sonic bangs) எனப்படும். இதனல் ஊர்தியில் செல்வோர்க்கும், ஊர்திக்கும் ஊறு உண்டாகலாம். இதனல் போர் வான ஊர்திகளும். மற்றவைகளும் கீழ்மட்டங்களில் பறந்து செல்வது மிகவும் விரும்பத்தகாதது. மிகுந்த ஆராய்ச்சிக்குப்பின் இவை எல்லாம் மேலே குறிப்பிட்ட இறுக்க அலைகளினல் தான் தோன்றுகின்றன என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இந்த இறுக்க அலைகள் ஊர்தியின் வெளிப்பரப்பில் (Outer Surface) மோதித் தடங்கல்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இதனல் ஒலியினும் கடுகிச் செல்லும் வான ஊர்திகள் வடிவத்திலும், அமைப்பிலும் முன்னுளைய ஊர்திகளை விட பெரிதும் மாறுபட்டு இருக்குமாறு செய்யப்படுகின்றன. வான ஊர்தியின் அமைப்பில் புதிய முறைகள் கையாளப்பட்டு அவற்றின் அமைப்பு வெளிப்பரப்பில் மிகப்பெரிய அமுக்கத்தை நீண்டநேரம் தாங்குமாறு அமைக்கப்படுகின்றது. ஏறத்தாழ 400°C அளவு வெப்பத்தை தாங்க மாக்—2 (Mach—2)என்ற டைட்டேனியம் பூச்சு வான ஊர்தியின் வெளிப்பரப்பில் கொடுக்கப்படுகின்றது.

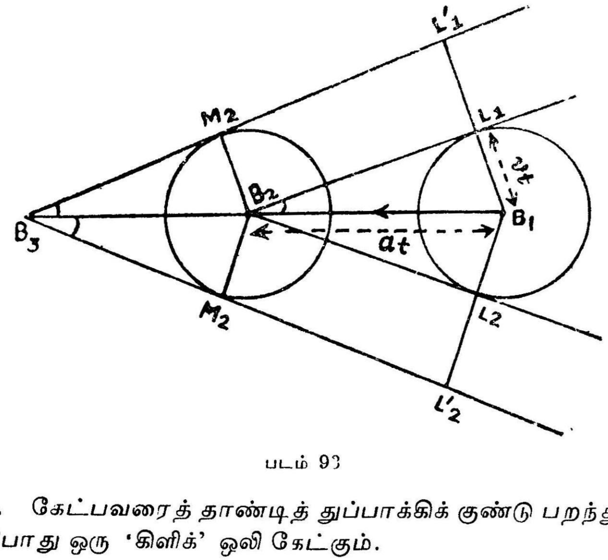
பின்னோக்கித் தள்ளும் விசை இந்த மிகு வேகங்களில் செயல்படுவதைத் தடுக்க முடியாது. இருந்தாலும் அவை குறைக்கப்

படலாம். இன்று ஜெட் இயந்திரங்களைப் பயன்படுத்தி ஒலித் தடைகளை உடைத்து மிகு வேகங்களில் வான ஊர்திகள் செலுத்தப்படுகின்றன. ஜெட் எந்திரங்கள் பயன்படுத்தப் படுவதால் ஊர்தியின் வேகம் ஒலியின் வேகத்தைவிட இரண்டு அல்லது மூன்று பங்குகள் இருக்கும் அளவு செய்யப்படுகிறது. ராக்கெட்டுகள் இன்னும் இதைவிட மிகுந்த வேகத்தைக் கொடுக்கும் சாதனங்களாக அமைந்துள்ளன. வான மண்டலத்தில் (Outer Space) செல்ல இந்த ராக்கெட்டுகள் மிகவும் பயன்படுகின்றன. ஜெட் வான ஊர்திகளிலும், வான மண்டல ராக்கெட்டுகளிலும் செல்லும் மனிதருக்கு எந்த விரும்பத்தகாத கெடுதியும் தோன்றியதாகத் தெரியவில்லை.

14·10. துப்பாக்கிக் குண்டின் விரைவு (Flight of a Bullet)

துப்பாக்கி சுடப்படும் பொழுது அதிலிருந்து குண்டு காற்றில் விரைந்து செல்லும். இதன் வேகம் ஒலியின் வேகத்தைவிட குறைவாக இருந்தால் ஒலியலைகள் துப்பாக்கிக் குண்டுக்கு முன்னால் ஒலியின் வேகத்தில் சென்று கேட்பவரை அடையும்.

துப்பாக்கிக் குண்டின் வேகம் ஒலியின் வேகத்தைவிட மிகுதியாக இருந்தால் (Supersonic Speed) மூன்று விதமான ஒலிகள் கேட்கும்.



படம் 93

1. கேட்பவரைத் தாண்டித் துப்பாக்கிக் குண்டு பறந்து செல்லும் போது ஒரு 'கிளிக்' ஒலி கேட்கும்.

2. அடுத்து, குண்டு காற்றில் விரையும் போது தோன்றும்

சுழிப்புகளால் (eddies) உண்டாகும் ஒரு 'பஸ்ஸிங்' (buzzing) ஒலி கேட்கும்.

3. துப்பாக்கி மருந்து (Gun powder) வெடிக்கும் ஒலி (Report of the gun) இறுதியாகக் கேட்கும். அடுத்து சில எதிரொலிகள் கேட்கலாம்.

1. இவை மூன்றிலும் 'கிளிக்' ஒலி, ஒலியலையின் தலைப் பகுதியினால் (Head Wave) தோற்றுவிக்கப்படுவது.

B_1-லிருந்து B_2 B_3 திசையில் ஒரு துப்பாக்கிக் குண்டு விரைவதாகக் கொள்வோம். (படம் 93). அதன் வேகம் a என்போம். t வினாடிகளுக்குப் பின்பு அது B_2 நிலையை அடையட்டும். துப்பாக்கிக் குண்டு தொடர்ச்சியான இறுக்கங்களை (compression) தோற்றுவித்துக் கொண்டே முன்னேறுகிறது. குண்டு B_1 B_2 தொலைவை t வினாடிகளில் கடக்கும்.

$$B_1 B_2 = at$$

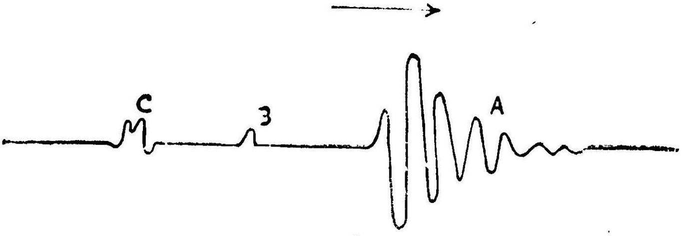
ஆனால் இதே நேரத்தில் இறுக்க அலைகள் $B_1 L_1$ தொலைவைக் கடக்கும்.

$$B_1 L_1 = B_1 L_2 = vt \qquad \left[\begin{array}{l} v \text{ என்பது} \\ \text{ஒலிவேகம்} \end{array}\right]$$

இப்போது ஒலி அலையின் முகம் ஒரு கூம்பாக (cone) இருக்கும். கூம்பின் உச்சி (Apex) B_2 வில் இருக்கும். கூம்பின் உச்சிக் கோணம் $L_1 B_2 L_2$ ஆகும்.

$$L_1 B_2 L_2 = 2\sin^{-1}.\left(\frac{vt}{at}\right)$$

$$= 2\sin^{-1}.\left(\frac{v}{a}\right)$$



படம் 94

இதேபோல் $2t$ நேரத்திற்குப் பின்பு இறுக்கம் B_2 யிலிருந்து தொடங்கி M_1 அல்லது M_2 -ஐ அடைகிறது.

$$B_2 M_1 = B_2 M_2 = vt.$$

அதே இறுக்கம் $L_1{}^1$ அல்லது $L_2{}^1$ ஐ-ம் அடைகிறது.

$$L_1 L_1{}^1 = L_2 L_2{}^1 = vt$$

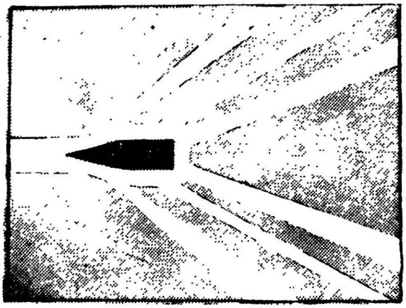
இப்போது அலைமுகம் B_3-ல் உச்சியை அடைய ஒரு கூம்பாக இருக்கும். உச்சிக் கோணம் $L_1{}^1 B_3 L_2{}^1$.

$$L_1{}^1 B_3 L_2{}^1 = 2\sin^{-1}\left(\frac{2\ vt}{2\ at}\right)$$

$$= 2\sin^{-1}\left(\frac{v}{a}\right)$$

$= L_1 B_2 L_2$ கூம்பின் உச்சிக்கோணம்

இந்த அலை முகத்திற்குச் செங்குத்து திசையில் செல்லும் அலை தான் 'கிளிக்' ஒலியை உண்டாக்குகிறது (படம் 94).



படம் 95

மேலே உள்ள படம் 95 ஒரு துப்பாக்கிக் குண்டு விரைவதைக் காட்டும் புகைப்படம். துப்பாக்கிக் குண்டு ஒலியின் வேகத்தை விட மிகுந்த வேகத்தில் காற்றில் செல்லுவதை இது காண்பிக்கிறது. கூம்பு வடிவமுடைய அலை முகத்தைப் படத்தில் காணலாம். சுழிப்புகள் கூட குண்டின் பின் பக்கத்தில் அதன் நேர்க் கோட்டில் தெரிகின்றன. இரண்டாவதாகக் கேட்கும் ஒலி இந்த அலைகளின் விரிவால் தோன்றுவதாகும்.

14.11. ஒளியியலில் டாப்ளர் விளைவு

சில குறிப்பிட்ட அலைநீளங்களையுடைய ஒளியைச் சிந்தும் ஒளி மூலங்கள் இயக்கத்திலிருக்கும்போது டாப்ளர் விளைவு தோன்றுவதைக் கண்டிருக்கிறார்கள். ஒரு விண்மீனிலிருந்து வரும் ஒளியிலுள்ள அலைநீளங்களையும் (wave lengths) அதே ஒளியைச்

சிந்தும் வில் விளக்கிலிருந்து (arc lamp) வரும் அலைநீளங்களையும் ஒப்பிட்டுப் பார்க்கும்போது விண்மீனிலிருந்து வரும் அலைநீளங்கள் ஊதாப் பக்கமோ அல்லது சிவப்புப் பக்கமோ நகர்ந்திருப்பதைக் (shift) காணலாம். ஊதா (violet) பக்கம் நகர்ந்திருப்பதால் அலைநீளம் குறைகிறது, எனவே அதிர்வு எண் அதிகரிக்கிறது என்று பொருள். சிவப்புப் பக்கம் நகர்ந்திருப்பதால் அலைநீளம் அதிகரிக்க அதிர்வெண் குறைகிறது என்பதைக் காட்டுகிறது. விண்மீன்கள் பூமியை நோக்கி நகரும்போது ஊதாப் பக்கமும், பூமியை விட்டுத் தள்ளிப் போகும்போது (receding) சிவப்புப் பக்கமும் அலைநீளம் நகர்ந்திருப்பதைக் காணலாம்.

இப்போது λ^1, λ என்பவை முறையே தோற்ற அலைநீளம், மெய் அலைநீளம் ஆகியவற்றைக் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். C என்பது ஒளியின் வேகம், v என்பது விண்மீனின் வேகம் எனக் கொண்டால்

$$n^1 = n.\frac{c}{c-v} \text{ ஆகும்}$$

$c = n\lambda$ ஆகையால்,

$$\frac{c}{\lambda^1} = \frac{c}{\lambda} \cdot \frac{c}{c\text{-}v}$$

$$\lambda^1 = \lambda\left(\frac{c\text{-}v}{c}\right)$$

$$\lambda^1 = \lambda - \frac{v}{c}.\lambda$$

$$\lambda^1 - \lambda = -\frac{v}{c}\lambda$$

$$\therefore \boxed{\frac{d\lambda}{\lambda} = -\frac{v}{c}} \qquad \left[\lambda^1 - \lambda = d\lambda \text{ எனக் கொள்கிறோம்}\right]$$

விண்மீன் பூமியைவிட்டுத் தள்ளிப்போனால்

$$n^1 = n\frac{c}{c+v}$$

$$\frac{c}{\lambda^1} = \frac{c}{\lambda} \cdot \frac{c}{(c+v)}$$

$$\lambda^1 = \lambda\frac{(c+v)}{c}$$

$$\lambda^1 = \lambda + \frac{v}{c}.\lambda$$

$$\lambda^1 - \lambda = \frac{v}{c}.\lambda$$

$$d\lambda = \frac{\lambda v}{c}$$

$$\frac{d\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$$

பொதுவாக

$$\boxed{\frac{d\lambda}{\lambda} = \pm\frac{v}{c}}$$

எடுத்துக்காட்டுகள்

1. ஒரு என்ஜின் நிலையாக உள்ள ஒருவரைத் தாண்டிச் செல்லுகிறது. அப்போது அதன் விசில் ஒலியின் தோற்ற அதிர்வு எண் 6: 5 என்ற விகிதத்தில் மாறுகிறது. ஒலியின் வேகம் ஒரு வினாடிக்கு 334 மீட்டர் என்றால் என்ஜினுடைய வேகத்தைக் கண்டுபிடி.

ஒலி மூலமும் கேட்பவரும் முறையே a, b ஆகிய திசை வேகங்களுடன் செல்லும்போது தோற்ற அதிர்வு எண்

$$n_1 = n.\frac{v-b}{v-a}$$

v என்பது ஒலியின் வேகத்தைக் குறிக்கும். n என்பது உண்மையான அதிர்வு எண்ணைக் குறிக்கிறது. இந்தக் கணக்கில் கேட்பவர் நிலையிலிருப்பதால் $b = 0$ என்ஜின் கேட்பவரை நோக்கி வரும்போது

$$n^1 = \frac{n.v}{(v-a)}$$

$$= \frac{n.334}{(334-a)} \quad ......(1)$$

என்ஜின் கேட்பவரைக் கடந்து செல்லும்போது

$$n^{11} = \frac{n.v}{(v+a)}$$

$$= \frac{n.334}{(334+a)} \quad ......(2)$$

ஆனல் $\frac{n^1}{n^{11}} = \frac{6}{5}$

$$\frac{6}{5} = n \cdot \frac{334}{334-a} \cdot \frac{334+a}{334 \cdot n}$$

$$\frac{6}{5} = \frac{334+a}{334-a}$$

$$2004 - 6a = 1670 + 5a$$

$$11a = 334$$

$$a = \frac{334}{11} = 30 \cdot 35 \text{ மீட்டர்/விஞடி.}$$

என்ஜினின் வேகம் விஞடிக்கு 30·35 மீட்டர்கள்.

2. இரண்டு விரைவு வண்டி என்ஜின்கள் விஞடிக்கு 30 மீட்டர் வேகத்தில் ஒன்றை நோக்கி ஒன்று வருகின்றன. ஒன்றின் விசில் ஒலியின் அதிர்வு எண் 800. மற்றென்றில் இருப்பவருக்குக் கேட்கும் ஒலியின் தோற்ற அதிர்வு எண்ணைக் கண்டுபிடி. (a) வண்டிகள் ஒன்றையொன்று கடக்குமுன் (b) கடந்தபின். ஒலியின் வேகம் விஞடிக்கு 330 மீட்டர் ஆகும்.

ஒலி மூலமும், கேட்பவரும் இயக்கத்தில் இருக்கும்போது, ஒலியின் தோற்ற அதிர்வு எண்

$$n' = n\left(\frac{v-b}{v-a}\right)$$

v, a, b ஆகியவை முறையே ஒலி, ஒலி மூலம், கேட்பவர் ஆகியவற்றின் வேகங்கள்.

(a) ஒன்றையொன்று கடக்குமுன்

$$a = 30 \text{ மீட்டர் / விஞடி}$$

$$b = -30 \text{ மீட்டர் / விஞடி}$$

$$n = 800 \text{ அதிர்வுகள் / விஞடி}$$

$$v = 330 \text{ மீட்டர் / விஞடி}$$

$$\therefore n^1 = 800 \times \frac{330-(-30)}{330-30}$$

$$= \frac{800 \times 360}{300}$$

$$= 960 \text{ அதிர்வுகள் / விஞடி.}$$

(b) ஒன்றையொன்று கடந்தபின்.

இங்கு $a = -30$ மீட்டர் / விஞடி

$b = 30$ மீட்டர் / விஞடி

$$n^1 = 800 \times \frac{330 - 30}{330 - (-30)}$$

$$= \frac{800 \times 300}{360}$$

$= 666$ அதிர்வுகள் / விஞடி.

3. இரண்டு வான ஊர்திகள் முறையே 60 கி. மீட்டர் / மணிக்கு, 90 கி. மீட்டர் / மணிக்கு வேகத்தில் பறந்து ஒன்றை நோக்கி ஒன்று வருகின்றன. ஒரு வான ஊர்தியில் இருக்கும் ஒருவர் மற்றொன்று எழுப்பும் ஒலியின் அதிர்வு எண் 1000 ஆக உணருகிறார். உண்மையான அதிர்வு எண்ணைக் கண்டுபிடி. ஒலியின் வேகம் மணிக்கு 450 கி. மீட்டர் எனக் கொள்ளவும்.

ஒலி மூலமும், கேட்பவரும் இயக்கத்தில் இருந்தால்,

$$n^1 = n \cdot \left(\frac{v - b}{v - a}\right)$$

n என்பது உண்மையான அதிர்வு எண். v, a, b என்பவை முறையே ஒலி, ஒலி மூலம், கேட்பவர் ஆகியவற்றின் வேகங்கள். இங்கு

$v = 450$ கி. மீட்டர் / விஞடி

$a = 60$ கி. மீட்டர் / விஞடி

$b = -90$ கி. மீட்டர் / விஞடி

$$\therefore 1000 = n \cdot \frac{450 - (-90)}{450 - 60}$$

$$= n \cdot \frac{540}{390}$$

$$n = \frac{1000 \times 390}{540}$$

$= 722$ அதிர்வுகள் / விஞடி. (ஏறத்தாழ)

4. ஒரு இசைக் கவையின் அதிர்வு எண் 510. இது அதிரும்போது கேட்பவரிடமிருந்து ஒரு சுவற்றை நோக்கி விஞ

டிக்கு 3 மீட்டர் வேகத்தில் எடுத்துச் செல்லப்படுகிறது. (*a*) எதிரொலிக்கப்படாமல் நேராக வரும் ஒலியலை (*b*) சுவற்றில் எதிரொலிக்கப்பட்டபின் வரும் ஒலியலை ஆகியவற்றின் தோற்ற அதிர் வெண்ணைக்கணக்கிடு. விம்மல்களின் எண்ணிக்கையையும் கணக்கிடு.

ஒலிமூலமும், கேட்பவரும் இயக்கத்தில் இருக்கும்போது

$$n^1 = n\frac{v-b}{v-a}$$

n என்பது மெய் அதிர்வெண், v, a, b ஆகியவை முறையே ஒலி, ஒலிமூலம், கேட்பவர் ஆகியவற்றின் திசை வேகங்கள்.

இங்கு $n = 510$ அதிர்வுகள் / விநாடி

$v = 330$ மீட்டர் / விநாடி

$a = 3$ மீட்டர் / விநாடி

$b = 0$ [கேட்பவர் நிலையிலிருக்கிறார்]

a. இசைக்கவை கேட்பவரிடமிருந்து தள்ளிப் போவதால் a எதிர் குறியுடையது. எனவே நேரடியாகக் கேட்கும் ஒலியின் தோற்ற அதிர் வெண்

$$n^1 = 510 \times \frac{330-0}{330-(-3)}$$

$$= 510 \times \frac{330}{333}$$

$$= 505\cdot 1 \text{ அதிர்வுகள் / விநாடி.}$$

b. எதிரொலிக்கப்பட்ட அலை, ஒலி வேகத்தில் கேட்பவரை அடைவதாகக் கொள்வோம். இப்போது a நேர்க்குறி கொண்டதாக இருக்கும்.

$$n^{11} = 510 \times \frac{330-0}{330-3}$$

$$= 510 \times \frac{330}{327}$$

$$= 514\cdot 7 \text{ அதிர்வுகள் / விநாடி.}$$

விம்மல்களின் அதிர் வெண் (beat frequency)

$$n^{11} - n^1 = 514\cdot 7 - 505\cdot 1$$

$$= 9\cdot 6 \text{ அதிர்வுகள் / விநாடி.}$$

5. ஒரு விண்மீனிலிருந்து வரும் ஒளியின் அலைநீளம் 4000×10^{-10} மீட்டர் ஆகும். இது இயல்பான நிலையிலிருந்து 10^{-10} மீட்டர் சிவப்பு முனைப்பக்கம் தள்ளித் தெரிகிறது. ஒளியின் வேகம் 3×10^{8} மீட்டர் (விநாடிக்கு) ஆனால் விண்மீனின் வேகத்தைக் கண்டுபிடி.

ஒளி சிவப்பு முனைப்பக்கம் தள்ளித் தெரிவதால் அதன் அலைநீளம் மிகுந்திருக்கிறது. எனவே அதிர்வு எண் குறைந்திருக்க வேண்டும். அதிர்வெண் குறைய விண்மீன் பூமியிலிருந்து விலகிச் செல்லுகிறது என்று கொள்ள வேண்டும்.

$$\lambda = 4000 \times 10^{-10} \text{ மீட்டர்}$$

$$d\lambda = 10^{-10} \text{ மீட்டர்}$$

$$c = \text{ஒளியின் வேகம்} = 3 \times 10^{8} \text{ மீட்டர்}$$

$$b = \text{விண்மீனின் வேகம்.}$$

$$n^{1} = n \cdot \frac{c}{c+b}$$

$$\frac{c}{\lambda^{1}} = \frac{c}{\lambda} \cdot \frac{c}{c+b} \qquad \left[\because \; n = \frac{c}{\lambda}\right]$$

$$\frac{1}{\lambda^{1}} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{c}{c+b}$$

$$\lambda^{1} = \lambda \frac{(c+b)}{c}$$

$$= \lambda + \frac{b}{c} \cdot \lambda$$

$$\lambda^{1} - \lambda = \frac{b}{c} \cdot \lambda$$

$$d\lambda = \frac{b}{c} \cdot \lambda$$

இங்கு $\dfrac{d\lambda}{\lambda} = \dfrac{b}{c}$

$$\frac{10^{-10}}{4000 \times 10^{-10}} = \frac{b}{3 \times 10^{8}}$$

$$b = \frac{3 \times 10^{8}}{4000} = \cdot 75 \times 10^{5}$$

$$= 7 \cdot 5 \times 10^{4} \text{ மீட்டர் / விநாடி.}$$

விண்மீனின் திசைவேகம் $7 \cdot 5 \times 10^{4}$ மீட்டர் / விநாடி.

வினுக்கள்

1. டாப்ளர் விளைவு என்ருல் என்ன? அதை விளக்கி எழுது. ஒலி மூலமும், கேட்பவரும் இயக்கத்தில் இருக்கும்போது ஒலியின் அதிர்வு எண்ணில் தோன்றும் தோற்ற மாறுபாட்டிற்கு ஒரு கோவையைக் காண்.

2. ஒரு அதிரும் இசைக்கவை ஒரு எதிரொலிக்கும் சுவற்றை நோக்கி நகர்த்தப்படும்போது விம்மல்கள் தோன்றுவது எவ்வாறு என்பதை விளக்கு.

3. ஒலியியலில் சுருதியின் அதிர்வு எண் டாப்ளர் விளைவால் எவ்வாறு மாற்றப்படுகிறது என்பதை எடுத்துக்காட்டுகளுடன் விளக்கு.

4. ஒரு சுருதியின் அதிர்வு எண் ஒலிமூலம் கேட்பவரை நோக்கி நகரும்போதும், கேட்பவரை விட்டு விலகிப் போகும் போதும் அடையும் மாறுபாட்டைக் கணக்கிடு.

5. ஒளியியலில் டாப்ளர் விளைவை விளக்கி எழுது. இதைப் பயன்படுத்தி விண்மீனின் வேகத்தை எவ்வாறு கணக்கிடலாம் என்று காண்பி.

6. ஒரு என்ஜின் மணிக்கு 25 கி. மீட்டர் வேகத்தில் சென்று கொண்டிருக்கிறது. அதன் விசில் ஒலியின் அதிர்வு எண் 384. எதிர்த்திசையில் 38 கி. மீட்டர் வேகத்தில் (மணிக்கு) வரும் புகைவண்டியிலிருப்பவருக்குக் கேட்கும் விசில் ஒலியின் தோற்ற அதிர்வு எண் என்ன?

7. மணிக்கு 38 கி. மீட்டர் வேகத்தில் ஒரு என்ஜின் ஒருவரைத் தாண்டிச் செல்லுகிறது. அதன் விசில் ஒலியின் அதிர்வு எண் 400 என்ருல் என்ஜின் அவரைக் கடக்குமுன்பும், கடந்த பின்பும் அவர் கேட்கும் விசில் ஒலியின் தோற்ற அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடு.

8. ஒரு இசைக்கவையின் அதிர்வுஎண் 512. இது ஒரு சுவற்றை நோக்கி வினுடிக்கு 3 மீட்டர் வேகத்தில் நகர்த்தப் படுகிறது. ஒலியின் வேகம் வினுடிக்கு 330 மீட்டர் என்ருல் நிலையிலிருக்கும் ஒருவருக்குக் கேட்கும் விம்மல்களின் எண் ணிக்கையை (வினுடிக்கு) கணக்கிடு.

9. ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவில் நின்று கொண்டிருக்கும் A, B என்ற இருவர் 300 அதிர்வெண்ணுடைய விசில்களை ஊதிக் கொண்டிருக்கிருர்கள். மூன்ருமவர் ஒருவர் B-யிலிருந்து A-ஐ நோக்கிச் செல்லும்போது வினுடிக்கு 4 விம்மல்களைக் கேட்கிருர். அவருடைய வேகத்தைக் கணக்கிடு.

15. தொழில்துறையில் ஒலிஇயல் கோட்பாடுகளின் பயன்கள்

(Technical applications of Acoustical principles)

15·1. ஒலியைப் பயன்படுத்தித் தொலைவைக் கணக்கிடல் (Sound Ranging)

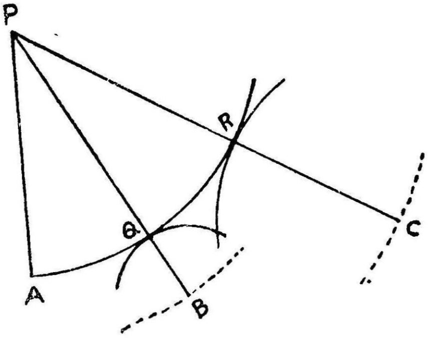
நமது பூமியைச் சுற்றியுள்ள வளி மண்டலத்தில் (Atmosphere) *ஒலியின் வேகம் தெரிந்தால் ஒலியின்மூலத்தின் இருப்பிடத்தை நாம் கணக்கிட முடியும். இரண்டு அல்லது மூன்று குறிப்பிட்ட இடங்களுக்கு ஒலி வந்துசேர எடுத்துக்கொள்ளும் நேரத்தைக் கணக்கிட்டு இந்தத் தொலைவைக் கணக்கிடலாம். இந்த முறைக்கு பல்முனைமுறை* (Multiple point method) *எனப் பெயர்.*

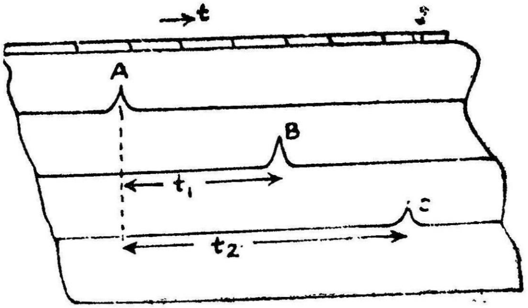
போர்க் காலங்களில் எதிரிகளின் துப்பாக்கி அல்லது எந்திரத் துப்பாக்கி (Machine gun) *உள்ள இடத்தைத் துல்லியமாகக் கணக்கிட இந்த முறை பயன்படுத்தப்படுகிறது.*

15·2. ஒலிவரவைப் பதிவு செய்தல்

வெப்பக்கம்பி மைக்ரோபோனைப் (Hot wire microphone) *பயன்படுத்தி மூன்று வெவ்வேறு இடங்களில் ஒரு துப்பாக்கி* (gun) *சுடும் ஒலி பதிவு செய்யப்படுகிறது. P என்ற புள்ளியில் (படம் 96) துப்பாக்கி இருப்பதாக எடுத்துக்கொள்வோம். A, B, C என்பவை 3 வெவ்வேறு இடங்கள். இவற்றில் வெப்பக் கம்பி மைக்ரோபோனை வைத்துப் பதிவு செய்திருக்கிறோம். இந்த மூன்று மைக்ரோபோன்களும் ஒரு சிறப்பியல்பு கொண்ட கல்வனோ மீட்டரால் இணைக்கப்பட்டிருக்கும். கல்வனோ மீட்டர் தொலைவிலுள்ள ஒரு கூடத்தில்* (Station) *இருக்கும். கல்வனோ மீட்டரின் கண்ணாடித்துண்டு ஒளியை எதிரொளித்து ஒரு நகரும்*

புகைப்பட மெல்லேட்டின்மீது பதிவு செய்யும். புகைப்பட மெல்லேடு ஒரு நீள் உருளை வடிவத்தில் சீரான வேகத்துடன் சுழன்றுகொண்டிருக்கும். துப்பாக்கி ஒலி கேட்காதபோது கல்வனோமீட்டரின் கண்ணாடிகள் *a*, *b*, *c* என்ற மூன்று நேரான கோடுகளை மெல்லேட்டின்மீது தோற்றுவிக்கும். இந்த மூன்று கோடுகளும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருக்கும். (படம் 96) இந்த மெல்லேட்டில் 0·1 வினாடிகள் இடைவெளி





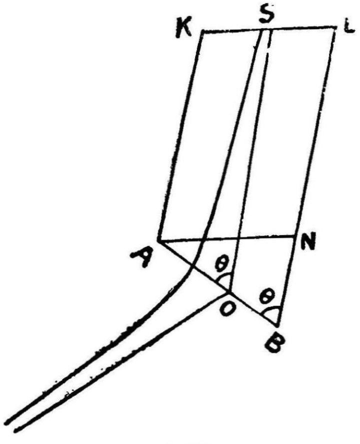
படம் 96

குறிக்கப்பட்டிருக்கும். மைக்ரோபோனில் ஒலிவந்து சேர்ந்த கணத்தில் அதற்குண்டான கோட்டில் ஒரு முடுக்கு (Kink) காண்பிக்கப்படுகிறது. நகரும் புகைப்பட மெல்லேட்டின் சுழல்வேகம் தெரிந்தால் இரண்டு அடுத்தடுத்த முடுக்குகளுக்கு இடைப்பட்ட நேரத்தைக் கணக்கிடலாம். இந்த நேரம் இரு மைக்ரோபோன்களுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவை ஒலி கடக்க எடுத்துக்கொண்ட நேரத்திற்குச் சமமாகும்.

Pஐ மையமாகக் கொண்டு PA தொலைவை ஆரமாகக் கொண்டு AQR என்ற ஒருவில் வரைவதாகக் கொள்வோம். இது A என்ற புள்ளியில் ஒலிகேட்கும் கணத்தில் அங்கு உள்ள ஒலிஅலை-முகத்தைக் குறிக்கும். BQ என்ற தொலைவு ஒலியலை A, B என்ற இரு இடங்களில் வைக்கப்பட்டுள்ள மைக்ரோபோன்களின் இடைப்பட்ட தொலைவைக் குறிக்கும். இதேபோல் CR, A, C மைக்ரோபோன்களுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவைக் குறிக்கும். இவை மெல்லேட்டில் இரு முடுக்குகளால் குறிக்கப்பட்ட நேரத்திற்கு நேரானவை. B, C மைக்ரோபோன்களில் ஒலியலை Aக்கு வந்தடைந்தபின் முறையே t_1, t_2 விஞடிகளுக்குப்பின் B, C மைக்ரோபோன்களை வந்தடைகின்றன. Aயில் ஒலியின் அலைமுகம் இருக்கும்போது B, C மைக்ரோபோன்களை வந்தடைய உள்ள நேரம் தெரிவதால், B-ஐ மையமாகவும் Vt_1 தொலைவை ஆரமாகவும் கொண்டு ஒரு வில் வரையவும். அதேபோல் C-ஐ மையமாகக் கொண்டு Vt_2 தொலைவை ஆரமாகக்கொண்டு மற்ருெரு வில் வரையவும். இப்போது AQR என்ற வட்டம் A-யின் வழியாகச் செல்லும். இது B,C ஐச் சுற்றியுள்ள வட்டங்களைத் தொட்டுக் கொண்டு செல்லும். இந்த வட்டங்களும், வில்களும் ஒரு காகிதத்தில் குறிக்கப்பட்டு P-யின் நிலை—துப்பாக்கி உள்ள கூடம் கணக்கிடப்படுகிறது.

15·3. மாற்றுமுறை (Alternate method)

இதையே மற்ருெருமுறையிலும் கணக்கிடலாம். A,B என்பவை (படம் 97) ஒலிகேட்கும் இரு இடங்களாகக் கொள்வோம். S என்பது ஒலிமூலம் (Source) இதிலிருந்து ஒலி Aக்கு வந்தபின் Bக்கு வந்துசேர t_1 விஞடிகள் எடுத்துக்கொள்ளட்டும்.



படம் 97

$$\therefore SB - SA = vt_1.$$

v-என்பது ஒலியின் வேகம். A, B இவைகளைக் குவியங்களாகக் கொண்ட ஒரு அதிபரவளையத்தின் (Hyperbola) மீது இப்போது S என்ற புள்ளி இருக்கும். O என்பது AB-யின் நடுப்புள்ளி S-என்பது, Oவிலிருந்து மிகுந்த தொலைவிலிருந்தால் KSL, AN என்பவை OS என்ற கோட்டிற்கு செங்குத்துக் கோடுகளாக அமையும்.

இப்போது O என்ற புள்ளி OS என்ற ஈற்றணுகியில் (Asymptote) இருக்கும்.

$$SB-SA = LB-KA$$
$$= LB-LN$$
$$= NB$$

அல்லது $vt_1 = NB$

$AB = l_1$, $\underline{|LBA} = \underline{|SOA} = \theta$ ஆனால்

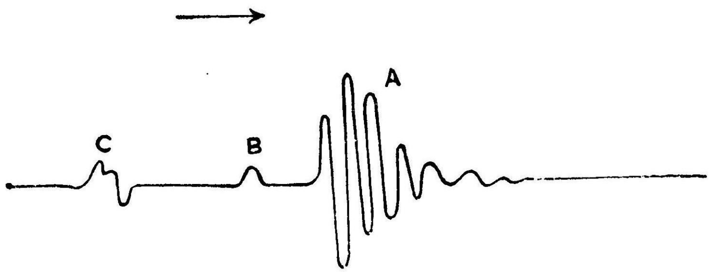
$$\cos\theta = \frac{NB}{AB} = \frac{vt_1}{l_1}$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{vt_1}{l_1}\right)$$

θ-என்பது AB கோட்டுக்கும் S-ன் திசைக்குமுள்ள கோணம். இதைப்போலவே A, C என்ற இரு இடங்களுக்கு (AC கோட்டுக்கு) S உள்ள திசையைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

$AC = l_2$, A, C இடங்களில் ஒலிகேட்கும் கால இடைவெளி t_2 ஆகியவை தெரிந்தால், இந்தத் திசையையும் கண்டுபிடிக்கலாம். இந்த இரு திசைகளின் வெட்டுப்புள்ளி S-ன் நிலையைக் கொடுக்கும்.

மறைந்திருக்கும் எதிரிகளின் துப்பாக்கியின் இருப்பிடத்தைக் காண இந்தமுறை பயன்படுத்தப்படுகிறது. இங்கு கணக்கிடும் நேரம் மிகவும் குறைவாய் இருத்தல் வேண்டும். இதற்காக கால இடைவெளிகள், குறிப்பிட்ட படங்கள் தயாராக இருக்கும். இதிலிருந்து உடனடியாக துப்பாக்கியின் தொலைவைக் கணக்கிட முடியும்.



படம் 98

பொதுவாக துப்பாக்கியில் இருந்து வெளிவரும் குண்டு ஒலியைவிட மிகுந்த வேகத்தில் (Supersonic) வரும். இதனால் ஏற்படும் பதிவு படத்தில் (படம் 98) உள்ளதுபோல் இருக்கும்.

C-என்ற தலைப்பு அலை (Head wave) முதலில் பதியப்படுகிறது. அடுத்து துப்பாக்கிக் குண்டு வெடிக்கும் ஒலி B பதியப்படுகிறது. இது மிக நெருங்கிய தொலைவில் கேட்கும். இதை அடுத்து துப்பாக்கி தோற்றுவிக்கும் ஒலிஅலை A பதிவு செய்யப்படும். துப்பாக்கி உள்ள இடத்தைக் கண்டுபிடிக்க A அலை பயன்படுத்தப் படுகிறது.

15·4. கடலில் ஒலியைக்கொண்டு தொலைவைக் கணக்கிடல்

மேலே சொல்லப்பட்ட பல்முனை முறையைப் பயன்படுத்தி கடலின் ஆழத்தில் தோன்றும் சுரங்கவெடிகள், நீர்மூழ்கிக் குண்டு கள் இருக்குமிடம் ஆகியவற்றின் தொலைவைக் கணக்கிடலாம். இங்கு வெப்பக் கம்பி மைக்ரோபோன்களுக்குப் பதிலாக ஹைடிரோஃபோன்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. நான்கு ஹைடிரோஃபோன்கள் பதிவு செய்யும் கூடத்திலிருந்து ஏறத் தாழ 10 கி.மீ. தொலைவில் அடுத்தடுத்து இரண்டு அல்லது மூன்று கி. மீ. இடைவெளிகளில் ஒரே நேர்க்கோட்டில் வைக்கப்படு கின்றன. அவற்றின் இடையே உள்ள தொலைவும் நிலையும் துல்லிய மாகத் தெரிந்திருக்கும். மேலே கூறப்பட்ட முறையில் ஹைடிரோ ஃபோன்களில் ஒலிவந்து சேர்ந்ததும் புகைப்பட மெல்லேட்டில் பதிவுகள் செய்யப்படுகின்றன.

தொலைவைக் கணக்கிடுவதில் ரேடியோ - ஒலியியல் முறை என்பது இப்போது கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ள ஒரு எளிய நேரிடை யான முறையாகும். இதில் நடுக்கடலில் உள்ள கப்பலின் இடத்தைக் கண்டறிய ரேடியோ தொடர்பு கொள்ளப்படுகிறது. கரையில் ஒரு ரேடியோ தொடர்பு நிலையமும், ஒலிமுறையில் தொலைவைக் கணக்கிடும் கருவிகளும் இருக்கும். ஏறத்தாழ 8 கி. மீ. தொலைவுகளில் தனித்தனியே 4 ஹைடிரோஃபோன்கள் கடலில் மூழ்கடிக்கப்பட்டு கரையிலுள்ள நிலையத்திற்கு இணைக்கப் பட்டிருக்கும். கடலில் உள்ள கப்பல் ஒரே நேரத்தில் ஒரு ரேடியோ அலையையும் கடலினுள் ஒரு ஒலி அலையையும் அனுப்பும். கடலுக் குள் ஒரு வெடியைத் தோற்றுவித்து ஒலி கடல்நீரினுள் செல்லு மாறு செய்யப்படுகிறது. ரேடியோ அலை வினாடிக்கு 3×10^8 மீட்டர் வேகத்திலும், ஒலிஅலை கடல்நீரில் அதன் வேகத்திலும் கரையிலுள்ள நிலையத்தை நோக்கி விரையும். இங்கு ரேடியோ அலைவந்து சேரும் நேரமும், அடுத்தடுத்து ஹைடிரோஃபோன் களில் ஒலிவந்து சேருவதும் ஒரு புகைப்பட மெல்லேட்டில் பதிவு செய்யப்படுகின்றன. ரேடியோ அலைவந்து சேர்ந்தபின் அடுத் தடுத்துள்ள ஹைடிரோஃபோன்களுக்கு ஒலிஅலை வந்து சேர எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் t_1, t_2, t_3 துல்லியமாகக் கணக்கிடப்

படலாம். கடலில் கப்பல் உள்ள தொலைவு ஹைடிரோஃபோன் களிலிருந்து முறையே vt_1, vt_2, vt_3 ஆகும். v-என்பது கடல்நீரில் ஒலியின் வேகமாகும். ஹைடிரோஃபோன்களின் நிலைகளை மையங் களாகக் கொண்டு முறையே vt_1, vt_2. vt_3 ஆகியவற்றை ஆரங்க ளாகக்கொண்டு வரையப்படும் வில்கள் வெட்டும் புள்ளி கப்பலின் இருப்பிடத்தைக் குறிக்கும். அதன் உண்மையான இருப்பிடம் தெரிந்தபின் ரேடியோமூலம் தொடர்புகொள்வது எளிதாகும்.

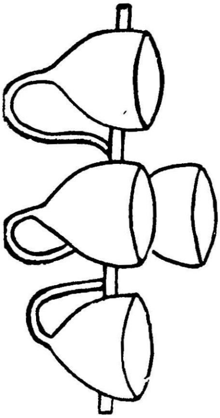
15·5. வானவூர்தியை ஒலியைக்கொண்டு கண்டுபிடித்தல்

ஒரு வானவூர்தி பறந்துகொண்டிருக்கும்போது மிகு சுருதியும் குறைசுருதியும் கொண்ட பல்வேறு ஒலிகளை எழுப்புகின்றது. இவ்வொலிகள் இசைப்பண்புகளைக் கொண்டதாகக் கூட இருக்க லாம். வானவூர்தியைக் கண்டுபிடிக்க இருசெவி விளைவு (Binaural Effect) பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஒலிமூலத்தின் இருப் பிடத்தைக்காண நாம் நமது இருச்செவிகளைத்தான் பயன்படுத்து கிறோம். ஒலிமூலம் மிக அருகிலிருந்தாலன்றி இரு செவிகளிலும் ஒலி வலிமை மாறுபாடு தெரியாது. இரு செவிகளுக்கும் வந்து சேரும் ஒலி அலைக்களுக்கிடையே கட்ட வேறுபாடு இருக்கும். இத்தகைய கட்டவேறுபாடுகள் ஒலி உணர்நரம்புகளைத் தாக்கும் போது ஒருசிறிய நேர வேறுபாட்டை (Time difference) தோற்று விக்கும். இதை உணர்ந்து, அளந்தால் ஒலிவரும் திசையையும் அதன் மூலத்தின் இருப்பிடத்தையும் கணக்கிடலாம். இதற்கு இரு செவிமுறை (Binaural method) எனப்பெயர்.

இரண்டு பெரிய கொம்புபோன்ற அமைப்புகள் (Horn) ஒலி அலைகளை வாங்கவும் அவற்றைப் பெருக்கவும் பயன்படுத்தப்படு கின்றன. இவை இணையான அச்சுகள் கொண்டவை. ஒரு செங் குத்து அச்சைப்பற்றி சுழலக்கூடிய சட்டத்தில் இவை பொருத்தப் பட்டிருக்கின்றன. கொம்புகளின் குறுகிய பாகங்கள் இரப்பர் குழாய் வழியே கேட்பவரின் செவிக்கு இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இந்த அமைப்பைக் கடந்து ஒரு ஒலியலை செல்லும்போது அது எப்போது செல்லுகிறது என்பதை கேட்பவர் துல்லியமாகக் கணக்கிட முடியும். இரவில் அல்லது பனிமூடிய காலங்களில் கண்ணுக்குத் தெரியாமல் செல்லும் வானவூர்தியைக் கண்டுபிடிக்க அதன் என்ஜின் எழுப்பும் ஒலியைப் பயன்படுத்துகிறோம். கொம்புகள் அதன் செங்குத்து அச்சைப்பற்றி மெதுவாக சுற்றப் படுகின்றன. கேட்பவர் அவை ஒலிவரும் திசையை நோக்கி இருக்கின்றன என்று உணரும்வரை சுற்றப்படுகின்றன. இந்த நிலையிலிருந்து கொம்புகள் சற்றுமாறினால் உடனே கேட்பவரின் செவியில் ஒலி வலிமை மாறும். இந்த அமைப்பு ஒலிவரும்

திசையைக்காண உதவுகிறதேயன்றி ஒலிமூலத்தின் இருப்பிடத்தைக் காணப் பயன்படாது. ஒலி நேரிடையாக வராமல் வேறு பொருளில் எதிரொலிக்கப்பட்டு வந்தால், கணக்கிடப்பட்ட திசை தவறாக இருக்கும்.

இதுதான் இருசெவிமுறை (Binaural method) எனப்படும். இதைவிட சிறந்த முறையில் அமைக்கப்பட்ட கருவியில் நான்கு கொம்புகள் '+' வடிவத்தில் அமைக்கப்படுகின்றன. இரண்டு கிடைத் தளத்திலும், இரண்டு செங்குத்துத் தளத்திலும் இருக்கும். கொம்புகளின் குறுகிய பகுதிகளில் மைக்ரோஃபோன்கள் அமைக்கப்படுகின்றன. கிடைத் தளத்திலுள்ள இரண்டுகொம்புகளின் மைக்ரோஃபோன்கள் ஒருவரின் செவிகளுக்கும், மற்றவை மற்றொருவரின் செவிகளுக்கும் இணைக்கப்படுகின்றன. இவை தனித்தனியே செங்குத்துத் தளத்திலும், கிடைத்தளத்திலும் சுழலுமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கும். ஒருவர் இவற்றை மேல் கீழாக மாற்றவோ அல்லது பக்கவாட்டில் மாற்றவோமுடியும். இருவரும் இருசெவிகளால் ஒரே அளவான ஒலியைக் கேட்கும்வரை இவற்றின் நிலைமாற்றப் படுகின்றன. இப்போது கொம்புகளின் அச்சுகள் வானவூர்தியை நோக்கி இருக்கும். வானவூர்தி விரைவாகச் சென்று கொண்டிருப்பதால் இப்படிக் கணக்கிடப்பட்ட திசை சிறிது மாறுபட்டதாகவே இருக்கும்.



படம் 99

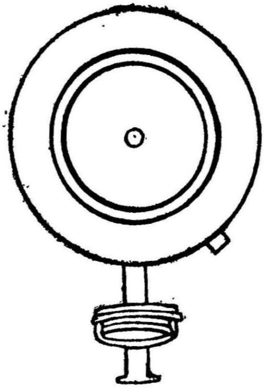
15·6. ஹைட்ரோஃபோன்கள் (Hydrophones)

இது நீருக்கடியில் விரையும் ஒலி அலைகளைக் கண்டறிய பயன்படுத்தப்படுகிறது. நீர்மூழ்கிக் கப்பல்களின் இருப்பிடத்தையும், திசைகளையும் இதனால் கண்டறிய முடியும்.

இதன் அமைப்பு: இதில் ஒரு பெரிய உலோக வளையம் (Metallic ring) உள்ளது. இதற்கு மெல்லிய எஃகுத் தகடாலான ஒரு இடைத்திரை பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இதன் நடுப்பகுதிக்கு நீர்ப் புகாத அறை பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இதற்குள் ஒரு கரித்தூள் மைக்ரோபோன் வைக்கப்பட்டுள்ளது. நீரின் ஆழத்தில் வரும் ஒலி அலைகள் இடைத்திரையை அதிரவைக்கும். அதிர்வுகள் மைக்ரோபோனால் உணரப்பட்டு மின்துடிப்புகளாக மாற்றப் படும். மைக்ரோபோனுக்கு இணைக்கப்பட்ட தொலைபேசி ஒலி வாங்கியில் (Telephone receiver) ஒலி கேட்கும்.

...EMARA PUBLIC L...

இதில் இடைத்திரைக்கு இணையாகவரும் ஒலி அலைகள் அதை அதிரவைக்கா. எனவே இருபக்கமும் அதிரும் இடைத்திரைகளைக் கொண்ட ஹைடிரோஃபோன்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

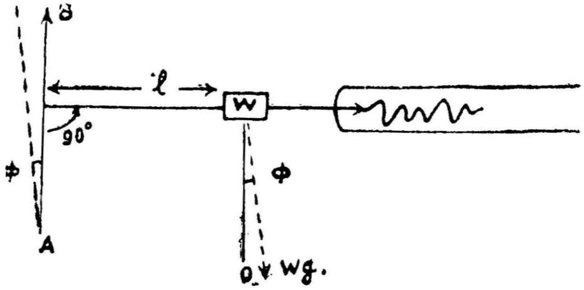


படம் 100

15·7. புவி அதிர்ச்சியைக் காணும் கருவி— சீஸ்மோகிராஃப் (Seismograph)

இது புவியின் அதிர்ச்சியை (Earthquakes) பதிவு செய்யும் கருவியாகும். பூமி அதிர்ச்சி அல்லது பூகம்பம் தோன்றும்போது பூமியின்மீது உள்ள எல்லாப் பொருள்களும் அதிர்ச்சியடைகின்றன. எனவே இதைப்பதிவு செய்ய பூமி அதிரும் போது நிலையிலிருக்கும் ஒரு அமைப்பு தேவைப்படுகிறது. இத்தகைய அமைப்பிற்கு அலைவுநேரம் மிக அதிகமாக இருக்கவேண்டும். அப்போது இந்த அமைப்பு நிலைமம் (Inertia) மிகுதியாய் இருத்தல் வேண்டும்.

ஒரு பெரிய எடைக்கல் W, OW என்ற உலோகத் தண்டின் கீழ் நுனியில் பொருத்தப்படுகிறது. O முனை இதன் அதிர்வு தளத்திற்குச் செங்குத்தாகப் பொருத்தப்படுகிறது.



படம் 101

இது ஏறத்தாழ ஒரு தனி ஊசல் போலிருக்கும். இதன் அலைவு நேரம்

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{wgl\,\phi}}$$

I—என்பது நிலைமம் (Inertia)

φ-என்பது *OW* தண்டிற்கும் செங்குத்துக் கோட்டிற்கும் இடையேயுள்ள சிறியகோணம். இது மேலே குறிப்பிடப்பட்ட தகுதிகளைப் பெற்றிருக்கிறது. இதன் அடிப்பகுதியில் ஒருசுருள் வில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். சுருள் வில்லின் முனைகள் ஒரு உணர்திறன் மிக்க கல்வனோ மீட்டருக்கு இணைக்கப்படுகின்றன. சுருள்வில் ஒரு மின்காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

புவி அதிர்ச்சி இருக்கும்போது *OW* தண்டு இங்கும் அங்கும் அலையும். அப்போது சுருள்வில் மின்காந்தப் புலத்தில் அசையும். அதில் ஒரு மின்தூண்டல் தோன்றும். இதனால் கல்வனோ மீட்டரில் ஒரு விலக்கம் (deflection) ஏற்படும். கல்வனோ மீட்டரில் உள்ள கண்ணாடித் துண்டில் ஒரு ஒளிக்கதிர் எதிரொளிக்கப்பட்டு புகைப்படமெல்லேட்டில் விழுமாறு செய்யப்படுகிறது. எனவே பூமியின் அதிர்ச்சிக்குத் தகுந்தவாறு மெல்லேட்டில் பதிவுகள் தோன்றும். இதற்கு சீஸ்மோகிராப் (Seismograth)—புவி அதிர்ச்சிப் பதிவு எனப்பெயர்.

வினாக்கள்

1. தரையில் ஒலியைக் கொண்டு ஒலிமூலத்தை (துப்பாக்கி) கண்டறியும் முறையை விளக்கி எழுது.

2. கடலில் கப்பல்கள் உள்ள தொலைவை ரேடியோ-ஒலியியல் முறையில் கணக்கிடுவது எப்படி ?

3. இருசெவி முறையில் வானவூர்தியின் திசையையும் இருப்பிடத்தையும் கண்டுபிடிப்பது எப்படி?

4. புவி அதிர்ச்சி பதிவுக்கருவியின் அமைப்பையும், செயலையும் விளக்கி எழுது.

16. கட்டட ஒலியியல்
(Acoustics of Buildings)

16·1. அறிமுகம்

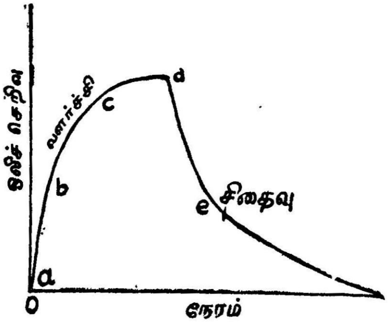
கட்டட ஒலியியல் என்பது கட்டடங்கள் கட்டப்படும் பொழுது ஒலிமற்றும் இசை ஆகியவற்றைப் பொறுத்து அமைக்கப் படும் பெரிய கூடங்கள், அறைகள் ஆகியவற்றின் அமைப்புபற்றிக் கூறுகிறது. ஒரு பெரிய கூடத்தில் இசையோ அல்லது பேச்சு ஒலியோ எழும்போது அது அக்கூடத்திலுள்ள எல்லா மனிதர் களுக்கும் கேட்கும்படியும், நன்ருகப்புரியும் அளவிற்கு எல்லா இடங்களிலும் சீராக பரவவும் கட்டடஅமைப்பு இருக்கவேண்டும். இசை நிகழ்ச்சி நடக்கும்போது இசையின் சுருதி, உரப்பு ஆகியவை மாருவண்ணம் எல்லாப் பகுதிகளிலும் சீராகக் கேட்கும் வண்ணம் கூடங்களின் அமைப்பு இருக்க வேண்டும். கூடங்களின் உருவமைப்பு (Shape), அளவு (Size) கூடத்திலுள்ள உட்கவர் பொருள்கள் (Absorptive Materials) ஆகியவை நன்ருக அமைக்கப்பட வேண்டும். இவை ஒலி அலைகள் வேண்டிய அளவு உயர்ந்து குறைந்து சீராகப் பரவும் வண்ணம் அமைதல் வேண்டும். அப்பொழுதுதான் இசை நிகழ்ச்சி, பேச்சு ஆகிய வற்றை நன்கு கேட்க முடியும். ஒரு கூடத்தினுள்ளே சுவர்களிலு லும் மற்ற பொருள்களிலுலும் ஒலி அலைகள் எவ்வாறு எதிரொலிக் கப்பட்டு மாற்றமடைகின்றன என்பதைப் பற்றிப் பார்ப்போம்.

16·2. எதிர் முழக்கம் (Reverberation)

ஒரு கூர்மையான கீச்சொலி பல முறை எதிரொலிக்கப் பட்டால் அது ஒரு இனிமையான இசை ஒலியாக மாறக்கூடும். இதே போல் ஒரு பெரிய கூடத்தில் ஒலி அலைகள் பரவுகின்றன. அவை கூடத்திலுள்ள சுவர் மற்றும் உள்ள பொருள்களின் மீது படுகின்றன. அப்போது ஒலி ஆற்றலில் ஒரு பகுதி திருப்பப்

படுகிறது. மற்ருெரு பகுதி பொருள்களால் உட்கவரப்படுகிறது. இதனுல் கூடத்திற்குள் ஒலியின் பங்கீடு ஒரே சீராக இராது. எதிரொலிக்கப்பட்ட ஒலியலைகள் ஒன்றுடன் ஒன்று கலந்து ஒலி நன்ருகக் கேட்காவண்ணம் குறுக்கிடுகின்றன. சில இடங்களில் ஒலி முழுவதும் கேட்காமலே இருக்கும். எனவே கூடத்தின் ஓரிடத்தில் எழுப்பப்படும் ஒலி நம் காதில் கேட்டவுடன் நின்று விடுவதில்லே. அடுத்தடுத்து ஏற்படும் எதிரொலிப்புகளால் அது சிறிது நேரம் நீடிக்கிறது. எழுப்பப்பட்ட ஒலி நின்றுவிட்டாலும் இந்த எதிரொலிக்கப்பட்ட பகுதி சில விஞடிகளுக்கு கூடத்தில் அங்குமிங்குமாக அலேந்துகொண்டிருக்கும். ஒலி எழுப்பும் மூலம் ஒலி எழுப்புவதை நிறுத்தியபின்பு கூட ஒலி கூடத்தில் கேட்கும் வண்ணம் நீடிக்கும் தன்மையைத்தான் எதிர்முழக்கம் (Reverberation) என்கிருேம். இவ்வகை எதிர் முழக்கம் நீண்ட நேரமிருந்தால் அடுத்தடுத்து எழுப்பப்படும் ஒலிகள் ஒன்றுடன் ஒன்று கலந்து எதுவும் தெளிவாகக் கேட்கா வண்ணம் செய்துவிடும்.

ஒரு கட்டடத்தில் எதிர்முழக்கம் நீடிக்கும் நேரம் 'எதிர் முழக்க நேரம்' (Time of Reverberation) எனப்படும். எதிர் முழக்க நேரம் என்பது ஒலி மூலம் ஒலி எழுப்புவதை நிறுத்திய கணத்திலிருந்து (Instant) ஒலி செவிக்குக் கேட்காமல் போகும் கணம் வரை உள்ள நேரமாகும். இந்த எதிர்முழக்கம் சில நேரங் களில் இசைக்கூடங்களில் விரும்பத்தக்கதாகக் கூட அல்லது வரவேற்கத்தக்கதாகக் கூட இருக்கும். ஏனெனில் இது இசையின் இனிமை பயக்கும் தன்மைக்கு உதலியாக இருக்கும். மிகுந்த எதிர் முழக்கம் அறையின் தன்மையைக் கெடுத்து விரும்பத்தகாத



படம் 102

தாகச் செய்துவிடும். நல்ல கட்டட ஒலியியல் என்பது இந்த எதிர் முழக்கத்தை வேண்டிய அளவு இருக்குமாறு அமைப்பதே ஆகும். ஒரு கூடத்தில் ஒலி எழுப்புவது நின்றவுடன் ஒலியின்

செறிவு எவ்வாறு நேரம் ஆக ஆக மாறுகிறது என்பதைக் காண்போம். படம் 102 இந்த ஒலிச் செறிவு வளர்வதையும் சிதைவதையும் (Growth & Decay) காட்டுகிறது. இது மின் தூண்டல் சுற்றில் (Inductive Circuit) மின்னோட்டம் வளர்வதையும் குறைவதையும் ஒத்திருக்கிறது.

a-யில் ஒலியாற்றல் செவியை நேரடியாக அடைகிறது. *b*-யில் ஒலி தொடர்ந்து எழுப்பப்படுகிறது. இத்துடன் சுவர், மேற்கூரை (Ceiling) ஆகியவற்றால் எதிரொலிக்கப்படும் ஒலியும் ஒன்று சேர்ந்து ஒலியின் வலிமையை மிகுதி ஆக்குகிறது. இங்கு சுவர், மற்ற பரப்புகளில் உட்கவர்தல் மிகக் குறைவாக இருக்கும். *C*-யில் உட்கவர்தலால் ஏற்படும் இழப்பு (Loss) ஏறத்தாழ எதிரொலிக்கும் ஒலிச் சேர்க்கைக்கு (Reinforcement) சமமாக இருக்கும். *d*-யில் கேட்பவரின் செவியில் மோதும் ஒலியின் வலிமை உயர்வதில்லை. இந்த நிலையில் ஒரு வினாடிக்கு அறையில் உட்கவரப்படும் ஒலியாற்றல் வெளியிடப்படும் ஒலியாற்றலுக்குச் சற்று அதிகமாக இருக்கும். இப்போது வெளியிடப்படும் ஒலி நின்றுவிட்டால் அறையில் ஒலியின் வலிமை குறைவதைப் படத்தில் *C*-பகுதி காட்டுகிறது.

உட்கவர்தல் மிகுந்து, வலிமைக் குறைவு விரைவாக இருந்தால் எதிர் முழக்க நேரம் சிறியதாக இருக்கும். உட்கவர்தல் குறைவாக இருந்து எதிரொலித்தல் நீண்ட நேரம் தொடர்ந்து இருந்தால் அறையில் ஒலி சிறிது நேரம் நீடித்திருக்கும். எனவே, இங்கு எதிர் முழக்க நேரம் அதிகமாக இருக்கும். இந்த விளைவு அறைக்கு அறை மாறும். இது அறையின் பரிமாணங்கள், அறைக்குள் இருக்கும் உட்கவர், எதிரொலிக்கும் பொருள்கள் ஆகியவற்றைப் பொறுத்து அமையும். இவை அறைக்குள் எழுப்பப்படும் இசை அல்லது பேச்சுக்குத் தடையாகவோ, துணையாகவோ அமையலாம். இன்றைய நாளில் இத்தகைய தேவையான எதிர்முழக்கம் உடைய கூடங்கள் அமைக்கப்படுகின்றன. இவைகள் ஒலியாற்றலின் உட்கவர்தல், எதிரொலிப்பு, குறுக்கீடு ஆகியவை கணக்கிடப்பட்டு தேவையான அளவு இருக்கும்படியாக அமைக்கப்படுகின்றன.

16·3 பொது இசை அரங்கிற்கான ஒலியியல் தேவைகள்

1. கூடத்தில் எழுப்பப்படும் ஒவ்வொரு அசையும் (Syllable) கூடத்தின் ஒவ்வொரு பகுதியிலும் தெளிவாகக் கேட்கும்படி அமைதல் வேண்டும்.

2. அடுத்து வரும் அசைவந்து சேருவதற்குள், முந்திய அசை அழிந்துவிட வேண்டும். இதற்குக் கூடம் மிகுந்த எதிர் முழக்கம் அற்றதாக இருக்க வேண்டும்.

3. கூடங்களில் தொடர்ச்சியைக் காக்கும் அளவுக்கு, மீறி எதிரொலி இருக்கக் கூடாது.

4. கூடத்தில் எந்த ஒரு பகுதியிலும் விரும்பத்தகாத ஒலிக் குவிப்பு (Focussing) இருக்கக்கூடாது. அதே போல் ஒலி கேட்காத அமைதி மண்டலங்களும் (Silence Zones) இருக்கக்கூடாது.

5. இனிமையற்ற குறுக்கீடுகள், பல்கூட்டு ஒலியின் மேற் சுரங்கள் முதலியன இருக்கக்கூடாது. அவை சுரப்பண்பை (Tonal quality) மாற்றிவிடும்.

6. தொடர்பற்ற வெளி ஓசைகள், ஒத்ததிர்வுகள் ஆகியவை கூடத்தை அணுகா வண்ணம் இருத்தல் வேண்டும்.

16·4. எதிர் முழக்கமும் சபைன் வாய்பாடும். (Reveberation & Sabine's law)

கட்டிட ஒலியியலில் முக்கியத்துவம் வாய்ந்த இந்த எதிர் முழக்கத்தைப்பற்றி *W. C* சபைன் என்பவர் அறிவியல் வழியில் ஆய்ந்திருக்கிறார். எதிர் முழக்க நேரத்தை அளவிட சபைன் 512 அதிர்வெண் உடைய ஒரு ஆர்கான் குழலைப் பயன்படுத்தினர். இதை ஒலிக்கவைத்து ஒரு கூடத்தில் எதிர் முழக்க நேரத்தைக் கணக்கிட்டார். பல்வேறு வகையான சோதனைகளிலிருந்து எதிர் முழக்க நேரத்திற்கு அவர் ஒரு வாய்பாட்டைக் கண்டு பிடித்தார். இதற்கு சபைன் வாய்பாடு எனப் பெயர். இது சோதனை அடிப் படையில் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது.

$$T = \frac{KV}{AS}$$

T — எதிர் முழக்க நேரத்தைக் குறிக்கிறது.

K — என்பது மாறிலி.

V — என்பது கூடத்தின் பருமன் (Volume)

AS — என்பது உட்கவர் திறனின் (absorptive pcwer) மொத்த அளவு.

$$AS = \sum_{i=1}^{n} Ai\ Si$$

Si — என்பது ஒலி அலைகள் மோதும் பரப்பு.

Ai — உட்கவர் குணகம்.

உட்கவர் குணகம் (absorption coefficient) என்பது ஒரு பரப்பில் ஒலியாற்றல் படும்போது, அதில் உட்கவரப்படும் ஒலியாற்றலின் பகுதிக்கும், பரப்பின் மீது படும் ஒலியாற்றலுக்கும் உள்ள தகவு அல்லது விகிதம் (ratio) ஆகும். திறந்த சாளரத்தில் ஒலி எதிரொலிக்கப்படுவதில்லை. ஆகவே அது ஒரு முழுமையான உட்கவர் பொருளாகக் கொள்ளப்படுகிறது. எனவே உட்கவர் குணகத்தை 'திறந்த சாளர அலகு'களில் சொல்லலாம். ஒரு சதுர அடி பரப்புடைய திறந்த சாளரம் ஓர் அலகாகக் கொள்ளப் படுகிறது. இதிலிருந்து ஒரு பரப்பின் உட்கவர் குணகத்தை வரையறுக்கலாம்.

ஒரு பரப்பின் உட்கவர் குணகம் என்பது அதனால் உட்கவரப் படும் ஒலியாற்றலுக்கும் அதே பரப்புடைய திறந்த சாளரத்தால் உட்கவரப்படும் ஒலியாற்றலுக்கும் உள்ள தகவு ஆகும்.

ஒலியின் வேகம் 334 மீட்டர் / வினாடி எனக் கொண்டால் எதிர் முழக்க நேரம்,

$$T = \frac{\cdot 171\, V}{S}$$

V — என்பது கன மீட்டரிலும் *S* — சதுர மீட்டரிலும் கணக் கிடப்பட வேண்டும். ஒரு மூடிய பகுதியில் சோதனைகள் நடத்தி மேலே கண்ட சோதனை அடிப்படை வாய்பாட்டைக் கண்டு பிடித் தார். இதற்கான தற்கோள்கள் (assumptions)

1. மூடிய பகுதியில் (enclosure) ஒலியாற்றலின் பங்கீடும் ஒலி வலிமையும் சீராக உள்ளன.

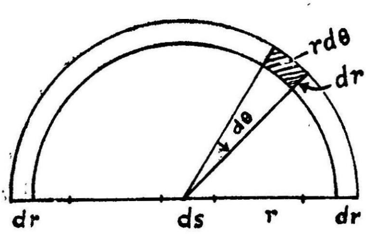
2. காற்றில் ஒலியாற்றலின் அழிவு மிக மிகக் குறைவு. ஆற்றல், மூடியபகுதியின் தரை, சுவர், மேற்கூரை ஆகியவற்றிற்கு மட்டுமே பொருந்தும்.

3. மேற்பரப்புகளின் உட்கவர் குணகம் ஒலியின் வலிமை யைப் பொறுத்து அமையாது.

4. ஒலிக் குறுக்கீடுகளும் (Interference) நிலையான அலைகள் தோன்றுவதும் கிடையாது.

5. ஒலி ஆற்றல் வெளிப்படும் வீதம் (rate of emission) மாறாமல் இருக்கிறது.

E என்பது ஆற்றல் செறிவு (energy density) ஆனால் ஒரு சிறிய கன அளவு *dv* — யின் ஆற்றல் $= E. dv$. இந்த ஆற்றல் ஒரு சிறிய பரப்பளவில் எல்லாத் திசைகளிலும் பரவுகிறது. இப்போது சுவற்றின் ஒரு மூடிய பகுதியின் சிறிய பரப்பு *ds* — ல் படும் ஆற்றலைக் கண்டு பிடிப்போம்.



படம் 103

$r, r+dr$ ஆகியவற்றை ஆரங்களாகவும் *ds* — ஐ நடுப்புள்ளியாகவும் கொண்டு இரண்டு பொதுமைய வட்டங்கள் வரையப்படட்டும். இவ்விரு வட்டங்களுக்கும் இடையே ஒரு சிறிய அடிப்படைப் பரப்பை எடுத்துக்கொள்வோம். இது செங்குத்துக் கோட்டிற்கு $\theta, \theta + d\theta$ கோணங்களில் உள்ள ஆரங்களால் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது (படத்தில் கோடிட்ட பகுதி. இந்த அடிப்படைப் பரப்பின் பரப்பளவு

$$= r. dv. dr.$$

இந்தப் படம் செங்குத்துக் கோட்டைப் பற்றி ஒரு சிறிய கோணம் $d\phi$ அளவு சுழற்றப்பட்டால்

$rd\theta\, dr$ பரப்பு ஒரு dV பருமனைக் கொடுக்கும்.

$$dv = rd\theta . dr . r \sin\theta . d\phi.$$

இந்த அடிப்படை பருமனின் உள்ள ஆற்றல்

$$Edv = Er^2 \sin\theta\, d\theta\, dr\, d\phi.$$

ஆற்றல் சீராக எல்லா இடங்களிலும் பரவி நிற்பதாலும் எல்லாத் திசைகளிலும் செல்லுவதாலும் ஓர் அலகு திண்மக் கோணத்தின் (solid angle) வழியே செல்லும் ஆற்றல்,

$$= \frac{Er^2 \sin\theta\, d\theta\, dr\, d\phi}{4\pi}$$

பரப்பளவு *ds* தாங்கும் திண்மக்கோணம்

$$dw = \frac{ds \cos\theta}{r^2}$$

எனவே ds — ஐ நோக்கிச் செல்லும் dv — ல் உள்ள ஆற்றல்

$$\frac{dw}{4\pi} \cdot Edv = \frac{ds.\cos\theta}{r^2} \cdot \frac{Er^2 \sin\theta\, d\theta\, dr\, d\phi}{4\pi}$$

$$= \frac{Eds}{4\pi} dr \sin\theta . \cos\theta\, d\theta\, d\phi.$$

ds அடிப்படைப் பரப்பளவு ஒரு விநாடிக்குப் பெறும் ஆற்றலின் அளவு v - ஐ ஆரமாகக் கொண்ட ஒரு அரைக் கோளத்திலிருந்து பெறுவதாகும். v - என்பது ஒலியின் வேகம். இதைக் கண்டு பிடிக்க $d\phi$ - யின் மதிப்பு O - விலிருந்து 2π வரை மாறுகிறது எனக் கொள்ளலாம். எனவே பரப்பு ds பெறும் ஆற்றலின் மொத்த அளவு

$$= \frac{Eds}{4\pi} dr \sin\theta . \cos\theta . d\theta \int_0^{2\pi} d\phi$$

$$= \frac{Eds}{4\pi} . dr \sin\theta . \cos\theta . d\theta\ 2\pi.$$

$$= \frac{Eds}{4} . dr \sin 2\theta . d\theta.$$

θ — வின் மதிப்பு O — விலிருந்து $\pi/2$ வரை மாறும். எனவே மேலே உள்ளதைத் தொகைப்படுத்தினால்,

ds—பெறும் ஆற்றலின் அளவு

$$= \frac{Eds}{4} dr \qquad \because \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin 2\theta \cdot d\theta = 1.$$

v-ஐ ஆரமாகக் கொண்டுள்ள அரைக்கோளத்திலிருந்து ஆற்றல் வருவதால், dr-ன் மதிப்பு $o-v$ வரை மாறும். எனவே மொத்த ஆற்றல்

$$= \int_0^v \frac{Eds.}{4} dr.$$

$$= \frac{Ev \cdot ds}{4}$$

a_1 என்பது ds-ன் உட்கவர் குணகமானால், அது உட்கவரும் ஆற்றல் வினாடிக்கு

$$= a_1 \frac{Evds}{4}$$

முழு மூடிய பகுதியும் உட்கவரும் ஆற்றல்

$$= \oint a_1 \frac{Ev \cdot ds}{4}$$

$$= \frac{Ev}{4} \Sigma a_1 ds$$

$$= \frac{Ev}{4} \Sigma a_i s_i$$

$$= \frac{Ev}{4} . AS \qquad [\Sigma a_i s_i = AS]$$

ρ–என்பது ஒலி மூலத்திலிருந்து வெளியிடப்படும் ஒலியின் ஆற்றல் வீதம், V-என்பது பருமன் ஆனல், எந்த ஒரு கணத்திலும், ஆற்றல் $= EV$.

ஆற்றல் வளரும் வீதம் $= V \frac{dE}{dt}$

$$\left[\begin{array}{l}\text{ஒலிமூலம் ஆற்றலை}\\ \text{வெளியிடும் வீதம்}\end{array}\right] = \left[\begin{array}{l}\text{இடத்தில் ஆற்றல் வளரும் வீதம்}\\ + \text{ சுவர்கள் உட்கவரும் வீதம்}\end{array}\right]$$

$$\rho = \frac{V\,dE}{dt} + \frac{Evas}{4}$$

$$\frac{dE}{dt} + \frac{Evas}{4V} = \frac{\rho}{V}$$

$\frac{vas}{4v}$— என்பதை b-எனக் கொண்டால்

$$\frac{dE}{dt} + bE = \frac{4b\rho}{vas}$$

இருபுறமும் e^{bt}–ஆல், பெருக்க

$$\left[\frac{dE}{dt} + bE\right] e^{bt} = \frac{4b\rho}{vas} . e^{bt}$$

$$\frac{d}{dt}\left[Ee^{bt}\right] = \frac{4b\rho}{vas} e^{bt}$$

தொகைப்படுத்தினல்,

$$Ee^{bt} = \frac{4\rho}{vas} e^{bt} + K \qquad \ldots\ldots(1)$$

K-தொகைப் படுத்துதலின் மாறிலி (Constant of integration)
$t = 0$ ஆனல் $E = 0$

$$\therefore K = -\frac{4\rho}{vas}$$

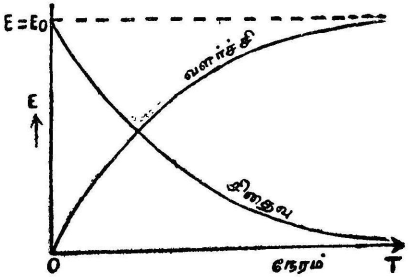
எனவே $Ee^{bt} = \frac{4\rho}{vas}\left[e^{bt} - 1 \right]$

$$E = \frac{4\rho}{vas}\left[1 - e^{-bt} \right]$$

$\frac{4\rho}{vas} = Es$ எனக்கொண்டால்,

$$E = Es\left[1 - e^{-bt} \right]$$

மேலே உள்ள கோவை ஒலி, மூலத்திலிருந்து எழும்பி t-விஞடிகளுக்குப் பின் உள்ள ஆற்றலின் வளர்ச்சியைக் காண்பிக்கிறது. இந்த வளர்ச்சி படத்தில் (படம் 104) காட்டியுள்ளது போல் இருக்கும்.



படம் 104

இதே போல் ஆற்றல் சிதைவிற்கும் கோவை காணலாம். (படம் 104) நேரம் $t = 0$ ஆக இருக்கும்போது

$$\rho = 0; \qquad E = Es$$

நேரம் ஒலி மூலம் ஒலி வெளியிடுவதை நிறுத்திய கணத்திலிருந்து கணக்கிடப்படுகிறது.

$$E e^{bt} = \frac{4\,\rho}{v\,a\,s} e^{bt} + K.$$

$K = Es$ ஆகும்.

$$E\, e^{bt} = Es$$

அல்லது $E = Es\, e^{-bt}$

இது ஆற்றல் சிதைவைக் (Decay) காண்பிக்கிறது.

நிலையான ஆற்றல் செறிவின் அளவிலிருந்து அதற்கு $\frac{1}{10^6}$ அளவுக்குக் குறையும் நேரத்தை 'எதிர் முழக்க நேர'மெனச் சொல்லுகிறோம். எனவே,

$$e^{-bt} = \frac{E}{Es} = 10^{-6}$$

$$\frac{v\,a\,s}{4\,V} \times T = \log e\; 10^6$$

$$= 2{\cdot}303 \times 6.$$

$$T = \frac{4 \times 2{\cdot}303 \times 6 \times V}{v\,a\,s}$$

$v = 334$ மீட்டர்/விநாடி எனக் கொண்டால்,

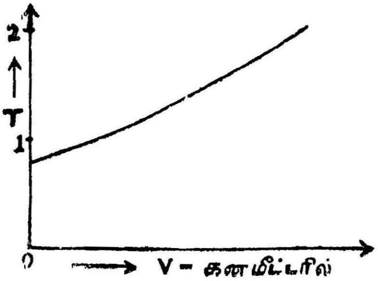
$$\boxed{T = \frac{\cdot 171\, V}{as}}$$ என வரும்.

16·5 போதுமான (Optimum) எதிர் முழக்கம்

மேலே கூறப்பட்டவைகளிலிருந்து எதிர் முழக்க நேரம் இசைக் கூடங்களின் பரிமாணங்களைப் பொறுத்து அமைகிறது எனக் கண்டோம். எதிர் முழக்கமே இல்லாத இசைக்கூடம் 'செத்த இசைக்கூடம்' (Dead Auditorium) எனப்படும். இத்தகைய இசைக் கூடங்களை எவரும் விரும்புவதில்லை. எதிர் முழக்கம் நீண்ட நேரம் இருந்தாலும் அவை கேட்பதற்கு துன்பமாக அமையும். எனவே போதுமான அளவு எதிர் முழக்கமுள்ள இசைக்கூடங்கள் தான் விரும்பத்தக்கவை. இசைக்கு ஒன்றிலிருந்து இரண்டு விநாடிகள் வரையும், பேச்சுக்கு 0·5யிலிருந்து 1 விநாடிவரையும் போதுமான எதிர் முழக்க நேரம் தேவை என கண்க்கிடப்

பட்டிருக்கிறது. எதிர் முழக்க நேரம் குறைவாக இருந்தால் அசைகளின் இடையே குழப்பம் குறைவாக இருக்கும். அதே நேரத்தில் உரப்பு மிகக் குறைந்திருக்கும். ஒலி பெருக்கிக் கருவிகள் பொருத்தப்பட்ட இசையரங்குகள் குறைந்த எதிர் முழக்க நேரத்தைக் கொண்டிருப்பது சிறந்ததாகும். போதுமான எதிர் முழக்க நேரத்தைக் (Optimum reverberation Time) காட்டும் வரை படம் கீழே உள்ளது.

$$T = \cdot 75 + \cdot 175\, V^{\frac{1}{3}}$$



படம் 105

16·6. உட்கவர் குணகத்தைக் காணல்

கூடங்கள் அமைக்கப்படும்போது ஒலி ஆற்றலை உட்கவரும் பொருள்கள் எதிர்முழக்க நேரத்தைக் குறைக்கப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. அவற்றின் உட்கவர் குணகத்தைக் கணக்கிடல் மிகவும் பயனுள்ளது. எதிர்முழக்க அறை (Reverberation Chamber) முறையிலும் நிலையான அறைகள் முறையிலும் இவை கண்டு பிடிக்கப்படுகின்றன. இந்த முறைகளில் அழுத்த வீச்சு அல்லது வேகவீச்சு (Pressure amplitude or Velocity amplitude) ஆகியவற்றின் விகிதத்தைக் கண்டுபிடிக்கிறோம். இதிலிருந்து உட்கவர் குணகத்தைக் கணக்கிடலாம்.

16·7. எதிர்முழக்க அறை முறை (Reverberation Chamber method)

இதில் 512 அதிர்வெண் உடைய ஒரு ஆர்கான் குழலை சபைன் பயன்படுத்தினார். உட்கவரும் பொருள்கள் உள்ள அறையில் எதிர்முழக்க நேரம் முதலில் கணக்கிடப்பட்டது. பின் உட்கவரும் பொருள்கள் அறையிலிருந்து நீக்கப்பட்டன. இப்போது எதிர் முழக்க நேரம் அதிகமாக இருக்கும். திறந்த சாளரங்களின் பரப்பளவு சிறிது சிறிதாக அதிகரிக்கப்பட்டது. முன்பிருந்த எதிர்முழக்க நேரம்வரை திறந்த சாளரப்பரப்பு அதிகரிக்கப்

பட்டது. இங்கு பொருளின் உட்கவரும் அளவு திறந்த சாளரத்தின் பரப்பளவுக்கும் உட்கவரும் பொருளின் பரப்பளவுக்கும் உள்ளதகவு கணக்கிடப்பட்டது. இது ஒரு பின்னமாக வரும். இதுதான் பொருளின் உட்கவர் குணகமாகும்.

உட்கவர் குணகம் மற்ருெரு முறையிலும் கணக்கிடப் படலாம். ஒரு அறையில் உட்கவர் பொருள்கள் இருக்கும் பொழுதும், இல்லாத பொழுதும் எதிர்முழக்க நேரம் கண்டு பிடிக்கப்படுகிறது. இவை முறையே T_1, T_2 ஆனுல்,

$$T_1 = \frac{\cdot 171\ V}{\Sigma a_1 s_1}$$ [$\Sigma a_1 s_1$-என்பது பொருள்கள் இல்லாமல் மொத்த உட்கவர்தல்]

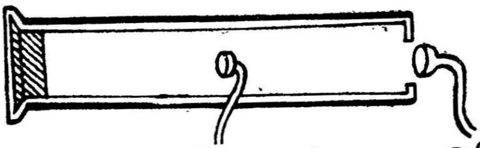
$$T_2 = \frac{\cdot 171\ V}{\Sigma a_1 s_1 + \alpha s}$$ [α என்பது பொருளின் உட்கவர் குணகம் s-அதன்பரப்பளவு]

$$\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} = \frac{\alpha s}{\cdot 171\ V}$$

அல்லது $\alpha = \frac{\cdot 171\ V}{s} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right]$

16·8. நிலையான அலைமுறை (Stationary wave method)

இந்தமுறை டெய்லர் (Tailor) என்பவரால் கண்டுபிடிக்கப் பட்டு பயன்படுத்தப்பட்டது. ஒருநீண்ட குழலின் ஒருமுனை உட்கவர் குணகம் காணப்பட வேண்டிய பொருளால் மூடப்படுகிறது. குழலில் நேர் அலைகளாலும், எதிரொலிக்கப்பட்ட அலைகளாலும் நிலையான அலைகளைத் தோற்றுவிக்க முடியும். கொடுக்கப்பட்ட பொருளில் எதிரொலித்து நிலையான அலைகள் தோன்றுகின்றன. நிலையான அலைகளில் கணுக்களும், எதிர்க் கணுக்களும் இராலே (Raylaigh) வட்டால் காணப்படுசின்றன.



படம் 106

சோதனைக்குட்பட்ட குழல் 30 செ.மீ. விட்டமுடையது. இதன் ஒருமுனை கொடுக்கப்பட்ட பொருளின் ஒரு துண்டால் மூடப்படு

கிறது. இங்கு ஒரு ஒலிப்பான் (Loud-Speaker) ஒலி மூலமாகப் பயன்படுகிறது. இது ஒரு பெட்டிக்குள் பொருத்தப்பட்டு குழலின் மற்றொரு முனையில் வைக்கப்பட்டிருக்கும். ஒலிப்பானிலிருந்து முன்னேறும் அலைகள் பொருளில் எதிரொலிக்கப்பட்டுத் திரும்பும். நிலையான அலைகள் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. கணுக்களும், எதிர்க்கணுக்களும் வெப்பக்கம்பி மைக்ரோஃபோனால் (Hot wire microphone) கண்டுபிடிக்கப்படுகின்றன. இதை முன்னும் பின்னும் நகர்த்த வசதியுண்டு.

$$y_1 = a \sin(\omega t - Kx)$$

$$y_2 = ma \sin(\omega t + Kx)$$

என்பவை நேர் அலைகளையும், திரும்பும் அலைகளையும் குறிக்கின்றன. 'm'-என்பது வீச்சின் திருப்பு குணகம் (Coefficient of Reflection for Amplitude) ஆகும். தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி

$$y = y_1 + y_2$$
$$= a(1+m) \sin \omega t . \cos Kx$$
$$- a(1-m) \cos \omega t . \sin Kx$$

இதில் இருவகை நிலையான அலைகள் இருக்கின்றன. அவற்றின் அலைவுநேரம் $\frac{2\pi}{\omega}$ ஆனால் இரண்டிற்கும் ஒரு கட்ட வேறுபாடு $\frac{\pi}{2}$ உண்டு. அவற்றின் வீச்சு இடத்திற்கு இடம் மாறுகிறது.

$x = O, -\frac{\lambda}{2}, -\lambda$ ஆகிய இடங்களில் வீச்சு $a(1+m)$ அளவுள்ள பெரும மதிப்பாக இருக்கும்.

மற்றொரு வகைக்கு பெரும மதிப்பு $a(1-m)$ ஆக இருக்கும். இவை $x = -\frac{\lambda}{4}, -\frac{3\lambda}{4}, -\frac{5\lambda}{4}$ ஆகிய இடங்களில் தோன்று கின்றன. இதிலிருந்து ஒருவகைக்குப் பெருமதிப்பாக உள்ளது மற்றொன்றிற்குச் சிறுமதிப்பாக இருக்கும் எனத் தெரிகிறது.

a_1, a_2 என்பவை எதிர்க்கணுவிலும், கணுவிலும் உள்ள இடப்பெயர்ச்சிகள் ஆனால்,

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{1+m}{1-m}$$

அல்லது $m = \frac{a_1 - a_2}{a_1 + a_2}$

ஒலியின் வலிமை வீச்சின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்தில் இருப்பதால் வலிமை திருப்புக் குணகம் (Coefficient of Reflection for Intensity)

$$R = m^2 = \left[\frac{a_1 - a_2}{a_1 + a_2}\right]^2$$

எனவே உட்கவர் குணகம்,

$$a = 1 - R = \left[\frac{4a_1 \, a_2}{(a_1 + a_2)^2}\right]$$

இந்த முறையில் உட்கவர் குணகத்தைக் கணக்கிடத் தேவையான அறை, குறைந்த உட்கவரும் தன்மை உடையதாக இருத்தல் வேண்டும், கொடுக்கப்பட்ட பொருள் வைக்கும் அளவைவிடப் பெரியதாகவும் இருக்கவேண்டும்.

சிலப்பொருள்களின் உட்கவர் குணங்கள்

பொருள்	உட்கவர் குணகம்
திறந்த சாளரம்	1·00
பெயின்ட் அடிக்கப்படாத செங்கல் சுவர்	0·03
கடினமான மேற்பூச்சு	0·01—0·02
மரக்கதவு	0·06
கண்ணுடிச் சாளரம்	0·025
கம்பளங்கள்	0·25—0·4
திரை	0·15
மரநாற்காலி	0·17
மெத்தை	0.2
ஒவ்வொரு கேட்கும் மனிதனும்	4·32—4·7

16.9. ஒரு நல்ல இசைஅரங்கு கட்டுவதற்கு ஒலியியல் அடிப்படையில் கருதப்பட வேண்டியவை

ஒரு நல்ல இசையரங்கிற்குத் தேவையானவை :

1. போதுமான உரப்பு
2. சீரான ஒலிப்பங்கீடு

2. எதிரொலியும், ஒலிக் குவிதலும் இல்லாமை

4. போதுமான அளவு எதிர்முழக்கம் இருத்தல்

5. ஒத்ததிராமல் இருத்தல் (Non-resonant)

6. வெளி ஓசைகளிலிருந்து தனித்திருத்தல்

7. ஓரவிளைவுகள் இல்லாமை (Absence of echelon effect)

16·10. ஓசை (Noise)

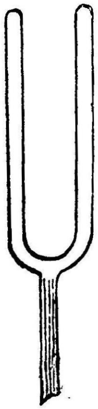
கடந்த பல ஆண்டுகளில் ஓசைகளும், தேவையற்ற ஒலிகளும் மிகுந்த அளவு பெருகியிருக்கின்றன. உலகத்தின் எல்லா பாகங்களிலும் தொழிற்துறையில் தோன்றியுள்ள இயந்திரங்களாலும், போக்குவரத்துகளினாலும், இத்தகைய ஓசைகள் வருகின்றன. மாந்தருக்கு இத்தகைய ஓசைகளினால் ஊறுகள் விளைகின்றன. இதனால் மூளை அயர்வும், எரிச்சலும், செய்யும் வேலையில் திறன் குறைவும், கவனக்குறைவும் ஏற்படுகின்றன. ஓசைமிகுந்திருந்தால் கேள்திறன் குறையும். நரம்பு மண்டலம் பலவீனமடையும். இதனால் நல்ல தூக்கம்கூட ஏற்படாது. சிறு குழந்தைகள். கைக்குழந்தைகள் ஆகியவற்றின் வளர்ச்சியைக் கூட இது பாதிக்கும்.

ஓசை உடற்கூறுகளையும், மனத்தையும் பாதிப்பதால் தேவையில்லாத ஒலிகளையும் ஓசைகளையும் தவிர்ப்பதற்கும் முடிந்த அளவு குறைப்பதற்கும் பல முயற்சிகள் மேற்கொள்ளப்பட்டுள்ளன. இவற்றில் வெற்றி காண ஓசையை அளப்பதற்கும், பகுப்பாய்வதற்கும், நாம் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும்.

16·11. ஓசையை அளவிடுதல் (Measurement of Noise)

ஓசை என்பது ஒழுங்கற்ற அலைவும், வீச்சும் கொண்ட அதிரும் பொருளால் திடீரெனத் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது எனக் கண்டோம். இந்த ஓசையின் 'மூலம்' ஒழுங்கில்லாத பருவ நிகழ்வற்றது (Non-Periodic). இத்தகைய ஓசையின் வளைகோட்டைப் படம் 58-ல் கண்டிருக்கின்றோம். நடைமுறையில் ஓசை என்பது உரப்பு மிக்க வெறுப்பைத்தரும் அன்றாட வேலைகளில் குறுக்கிடும் ஒலியாகும். எனவே ஓசையை அளப்பதற்கு அதன் முக்கிய குணங்களின் ஒன்றான உரப்பை (Loudness) பயன்படுத்துகிறோம். உரப்பு அளக்கப்படும் அலகைப்பற்றி முன்பே கண்டிருக்கிறோம். விநாடிக்கு 1000 அதிர்வுகளுடைய ஒரு ஒலிமூலத்தை படித்தர

மாக (Standard) எடுத்துக்கொள்கிறோம். கொடுக்கப்பட்ட ஓசையின் உரப்பிற்குச் சமமாகும் வரை இதன் உரப்பு ஒரு ஒத்ததிர்வியின் உதவிகொண்டு சரி செய்யப்படுகிறது. டெசிபெல்லில் அளக்கப்பட்ட படித்தர ஒலி மூலத்தின் வலிமை மட்டம் (Intensity level)—படித்தர சுருதியின் வலிமைக்கும் செவியுணரத் தொடங்கும் வலிமைக்கும் (Threshold Intensity) உள்ள இடைவெளி—கொடுக்கப்பட்ட ஓசையின் உரப்பை ஃபோன்களில் கோடுக்கும்.


படம் 107

டேவிஸ் என்பவர் மேலே குறிப்பிட்டதை அடிப்படையாகக் கொண்டு ஓசையை அளக்கும் ஒரு முறையைக் கண்டுபிடித்தார். ஒரு ரப்பர் சுத்தி கொண்டு அதிரவைக்கக்கூடிய ஒரு இசைக் கவையை எடுத்துக் கொள்கிறோம். இது செவியருகில் அதிரவைக்கப்படுகிறது. இசைக்கவை அடிக்கப்பட்ட கணத்திலிருந்து அதன் ஓசையின் உரப்பு சுற்றியுள்ள ஓசையின் மட்டத்திற்குக் குறையும்வரை கால இடைவெளி (Time-Interval) கணக்கிடப்படுகிறது. இதேபோல் ஒரு படித்தர சுருதி செவியுணர முடியாமல் போகும் வலிமை குறையும் வரை கால இடைவெளியும் கணக்கிடப்படுகிறது. இது ஓசையில்லாத இடத்தில் கணக்கிடப்பட வேண்டும்.

பரிசோதனையின் இரண்டாவது பகுதி அதே இடத்தில் அதே தகுதிகளுடன் சுற்றுப்புறம் அமைதியாக இருக்கும்பொழுது செய்யப்படவேண்டும்.

இசைக்கவை தரும் ஒலியின் வலிமை

$$I_t = I_o e^{-\alpha t}$$

I_o - என்பது துவக்க வலிமை; I_t- என்பது t விநாடிகளுக்குப்பின் வலிமை: α — என்பது இசைக்கவையைப் பொருத்த ஒரு மாறிலி

$$\therefore \frac{I_o}{I_t} = e^{\alpha t}$$

இருபக்கமும் log எடுக்க

$$\log_{10} \frac{I_o}{I_t} = \log_{10} e^{\alpha t} = \alpha t \log e$$

$$\log_{10} \frac{I_o}{I_t} = 0{\cdot}217\, \alpha t.$$

வலிமை மட்டத்தின் வேறுபாடு டெசிபெல்லில் குறிக்கப்படும் போது,

$$10 \log_{10} \frac{I_o}{I_t} = 2{\cdot}17\, \alpha\, t = \Delta t.$$

Δ - என்பது வலிமை மட்டத்தின் சிதைவைக் குறிக்கிறது. இது இசைக்கவையைப் பொறுத்த மாறிலி. இதை ஒரு கேள்திற மானியைக் (Audiometer) கொண்டு அளந்திடலாம். ஓசையின் உரப்பு அளவிற்கு இசைக்கவையின் வலிமை சிதைய t- விளுடிகள் ஆனல்,

$$N = S - \Delta t.$$

N-என்பது t-விளுடிகளுக்குப்பின் வலிமை மட்டம்.
S - என்பது இசைக்கவையின் துவக்க வலிமை மட்டம் (டெசி பெல்களில்)

T - என்பது இசைக்கவையின் வலிமை செவியுணர் திறன் அளவுக்கு சிதைய எடுத்துக் கொள்ளும் நேரமானல் ($N = O$)

$$S = \Delta{\cdot}t$$

$$\therefore N = \Delta.T - \Delta{\cdot}t$$

$$= \Delta\ (T - t)$$

இசைக்கவையின் அதிர்வுகள், அதன் ஒலி ஓசையால் மறைக் கப்படும் வரை சிதையவிட்டு, அது எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் t - கணக்கிடப்படுகிறது.

$$N = \Delta\,(T - t) + C$$

C - என்பது மறைக்கப்படும் மதிப்பிற்கும் (Masking Value) ஈடு செய்யும் மதிப்பிற்கும் (Matching Value) உள்ள வேறுபாடு.
C - யின் மதிப்பு ஓசையின் சுருதியைப் பொருத்தது.
அதன் மதிப்பு ஏறத்தாழ 15 டெசிபெல்கள் இருக்கும்.

16·12. ஓசை குறைப்பும் ஓசையிலிருந்து கட்டடங்களைப் பாதுகாத்தலும்

நம்முடைய வீடுகளிலும் அலுவலகங்களிலும் ஓசையைக் குறைப்பதற்கான சில முறைகளை இங்கு காண்போம். கட்ட டத்தை ஓசையில் இருந்து காப்பதற்கு இருவிதமான ஒலிகளைக் கணக்கில் எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். ஒலி மூலத்தில் இருந்து

கிளம்பி காற்றின் வழியே அறைகளுக்கு வந்து சேரும் ஒலிகள் ஒரு வகை. இவை காற்று வழி (Air borne) ஒலிகள் எனப்படும். கட்டடத்தின் சுவர்போன்ற மற்ற அமைப்புகள் வழியே வரும் ஒலி மற்றொரு வகை. இவை அமைப்பு வழி (Structure borne) ஒலிகள் எனப்படும். இவை கட்டடத்தின் உள்ளேயே உள்ள மோட்டார்கள், பாரம் தூக்கிகள் ஆகியவற்றால் ஏற்படுபவை, அல்லது தொலை தூரத்திலிருந்து சுவர், தரை வழியே தொடர்ந்து வருபவை.

முதல்வகை ஒலிகள் கதவுகள், சாளரங்கள், காற்றுப் போக்கிகள் ஆகியவற்றின் வழியே வருபவை. இவை அறையின் உள்ளேயே டைப் எந்திரம், பொருள்களை நகர்த்தல் ஆகியவற்றால் தோன்றுவது. இத்தகைய ஒலிகள் தேவையான இடங்களில் காப்பீடு (Insulation) செய்வதால் குறைக்கப்படலாம். எந்திரப் பகுதிகளில் எழும் ஒலியைக் குறைக்க மிகுந்த ஆராய்ச்சிகள் மேற்கொள்ளப்படுகின்றன. வேகமாக ஓடும் எந்திரப் பகுதிகள் மிகு ஒலி எழுப்பாமல் இருக்க சாதனங்கள் பொருத்தப்படுகின்றன. ஆனால் எந்திரங்கள் ஓடுவதனால் எழும் ஒலி முழுவதையும் குறைக்க முடியாது. இதன் அருகே ஒலியை உட்கவரும் பொருள்களினாலான திரைகளை (Curtains) தொங்கவிடுதல் நலம். டைப் எந்திரம் போன்ற சிறிய கருவிகளை உட்கவர் பொருளான (Absorbent material) பலகைமீது வைக்கலாம். காலடிகளினால் தோன்றும் ஓசைகளைத் தரையில் கயிற்று விரிப்புகளைப் பயன்படுத்தித் தவிர்க்கலாம். தக்கை, தரை விரிப்புகள் கூட ஓசையைத் தவிர்க்கப் பயன்படுகின்றன. வானொலி நிலையங்களில் சிறுசிறு துளைகளையுடைய மீட்சிக் குணகங்கள் குறைவான பொருள்களால் ஆன சுவர்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. உணவு உண்ணும் அறைகளில் பாத்திரங்களினால் எழும் ஓசையைக் குறைக்க ஆஸ்பெஸ்டாஸ் பாய்களையும் ஒலி குறைக்கும் துணிகளையும் பயன்படுத்தலாம். செலோடெக்ஸ் என்ற பொருள் ஓசையில் இருந்து பெருமளவு பாதுகாப்பளிக்கிறது.

அமைப்பு வழிவரும் ஒலிகள் எந்திர சாதனங்களை நேரடியாகத் தரையில் பொருத்தாமல் உட்கவர் பொருள்களைக் கொண்டு பொறுத்துவதால் மிகுந்த அளவு குறைக்கப்படலாம். இடையே காற்றும், வைக்கோல் போன்ற பொருள்களும், அடைக்கப்பட்ட இரட்டைச் சுவர்களும் மிக நல்ல ஓசைக் காப்பாகச் செயல்படும்.

வினக்கள்

1. ஒரு இசைக்கூடத்தில் எதிர்முழக்கத்திற்கான, காரணங்கள் எவை என்பதை விவரி. எதிர்முழக்கத்திற்கான சபைன் கோவையைத் தருவி.

2. உட்கவர் குணகம் என்ருல் என்ன? அதை அளக்கும் சில முறைகளைக் கூறு?

3. கட்டட ஒலியியல் பற்றி ஒரு சிறு கட்டுரை வரைக.

4. ஒரு இசைக்கூடத்தில் ஒலியியல் பண்புகள் நன்ருக இருக்கின்றன என்று சொல்வதின் பொருள் என்ன ?

5. இசைக்கூடத்தில் ஒலி நன்கு கேட்கத் தேவையான தகுதிகள் யாவை?

6. ஓசையின் சிறப்பியல்புகள் யாவை? ஓசையின் வலிமையை எவ்வாறு அளக்கலாம் ?

7. ஓசையைக் குறைப்பதற்கும், ஓசையிலிருந்து கட்டடங்களைக் காப்பதற்கும் உள்ள பல்வேறு முறைகளைக் கூறு.

8. ஒரு இசைக்கூடத்தில் கேட்பவர்களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்து அக்கூடத்தின் ஒலியியல் பண்புகள் மாறும் என்பதை விளக்கு.

9. சில இசைக்கூடங்களில் உள்ள குறைபாடான ஒலியியல் குணங்களைக் கூறு. அவற்றைத் தவிர்ப்பதற்கான வழிமுறைகளையும் கூறு.

17. செவி உணரா ஒலியியல்

(Ultrasonics)

17·1. செவி உணரா ஒலி

மனிதன் செவியால் கேட்கும் எல்லைக்கு அப்பாற்பட்ட அதிர்வு எண்ணுடைய ஒலிக்கு செவியுணரா ஒலி எனப்பெயர். செவியால் கேட்கும் ஒலியின் அதிர்வுஎண் எல்லை விநாடிக்கு 20,000 அதிர்வுகள் ஆகும். இதற்கு மேற்பட்ட அதிர்வெண் உடைய ஒலியைச் செவியுணரா ஒலி என்கிறோம்.

பொதுவாக எந்திரவியல் சாதனங்களைக் கொண்டு செவியுணரா ஒலியைத் தோற்றுவிக்க முடியாது. ஏனெனில் அவை மிகச்சிறிய இயற்கை அதிர்வெண் உடையவை (Natural Frequeney) கால்டன் விசில் ஒன்றுதான் செவியுணரா ஒலியில் மிகச்சிறிய அதிர்வெண் உடைய ஒலியைத் தோற்றுவிக்கும். அதிக அதிர்வெண் உடைய ஒலிகள் அழுத்த மின்னியற்றி (Piezo electric generator), காந்தப் பரிமாண மாற்ற விளைவுகளாலும் (Magneto Striction effect) தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன.

17·2. அழுத்த மின்னியல் விளைவு (Piezo electric effect)

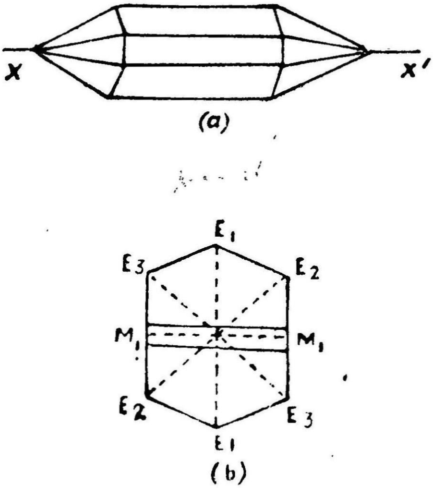
பொருத்தமாக வெட்டப்பட்ட சில படிகங்களின் (Crystals) பக்கங்களில் ஓர் அழுத்தத்தைக் கொடுத்தால் படிகங்களின் அந்தப் பக்கங்களில் எதிர் எதிரான மின்னூட்டங்கள் தோன்று கின்றன. இந்த மின்னூட்டங்களினால் இருபக்கங்களின் இடையே ஒரு அழுத்த வேறுபாடு (Potential difference) தோன்றுகிறது. இந்த மின்அழுத்த வேறுபாட்டின் அளவு கொடுக்கப்பட்ட அழுத்தத்தைப் பொறுத்து அமையும். இந்த விளைவுக்குத்தான் அழுத்த மின்னியல் விளைவு எனப்பெயர்.

இதேபோல் ஒரு படிகத்தின் எதிர் எதிரான இரு பக்கங்களில் ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாட்டை உண்டாக்கினால் படிகங்களின்

பரிமாணங்கள் மாறுகின்றன. இந்தப் பரிமாண மாற்றம் கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்த வேறுபாட்டைப் பொறுத்து அமையும். பரிமாணம் கூடவோ, குறையவோ செய்யலாம். இது மின்னழுத்த வேறுபாட்டின் திசையைப் பொறுத்தது. இந்த அழுத்த மின்னியல் விளைவு முதன் முதலில் 1880-ம் ஆண்டு கியூரி என்பவரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

மேலே சொல்லப்பட்ட விளைவு இயற்கையான படிகங்களில் சில குறிப்பிட்ட திசைகளில் வெட்டப்பட்ட படிகத் துண்டுகளில் மிக நன்றாகத் தோன்றுகிறது. இந்த விளைவு தோன்றக்கூடிய படிகங்கள் மிகப்பல. ஆனால் அவற்றில் குவார்ட்ஸ் (Quartz), டூர்மலின் (Tourmaline), இந்துப்பு படிகம் (Rock salt) ஆகியவை மிகவும் முக்கியமானவை.

படத்தில் (படம் *108a*) இயற்கையாகக் கிடைக்கும் ஒழுங்கான வடிவமுடைய ஒரு குவார்ட்ஸ் படிகம் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. அதன் கீழே உள்ளபடம் (படம் *108b*) அதே படிகத்தின்



படம் 108

குறுக்கு வெட்டுப்பரப்பு ஆகும். XX^1 என்பது படிகத்தின் ஒளியியல் அச்சு (Optic axis) ஆகும். அடுத்தபடம் அதே படிகத்தின் முன் புறத்தைக் காட்டுகிறது. இதில் $E_1 E_1$, $E_2 E_2$, $E_3 E_3$ என்பவை மின்னியல் அச்சுகள் (Electric axis) ஆகும். $M_1 M_1$ இந்தப் படிகத்தில் வெட்டப்பட்ட ஒரு துண்டு. இதன் நீளம் மின்னியல் அச்சு $E_1 E_1$-க்குச் செங்குத்தாக இருக்கிறது.

இதன் அகலம் ஒளியியல் அச்சுக்குச் செங்குத்தாக இருக்கிறது. இவ்வாறு வெட்டப்பட்ட துண்டு அதன் தடிமனுக்கு (Thickness) இணையான திசையில் ஒரு மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்டால் அதன் நீளம் அதிகரிக்கும். அதே நேரத்தில் அதன் தடிமன் குறையும். ஆனால் இந்தப் பரிமாண மாற்றம் கன அளவை மாற்றுவதில்லை.

17·3. படிகத்துண்டின் அதிர்வுகள்

ஒரு படிகத்துண்டின் தடிமனுக்கு இணையாக அதன் இரு பக்கங்களிலும் ஒரு மாறும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டைக் கொடுத்தால், அதன் நீளவாக்கிலும் தடிமனிலும் மாறி மாறி பரிமாணங்கள் கூடவோ, குறையவோ செய்யும். இது ஒரு பரிமாணத் திரிபு (Strain) ஆகும். படிகம் விசைப்படுத்தப்பட்ட அதிர்வுக்கு உள்ளாகிறது. படிகத்தின் ஒரு நிலையில் அதன் இயற்கையான அதிர்வுக்கு, கொடுக்கப்பட்ட மாறும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டின் அதிர்வு எண் சமமாக இருந்தால் ஒத்ததிர்வு (Resonance) ஏற்படும். இதனால் படிகத்தின் அதிர்வின் வீச்சு மிக அதிகமாக இருக்கும். இப்படிப்பட்ட அதிர்வுகள் நெட்டலை அதிர்வு வகையைச் சேர்ந்ததாக இருக்கும். அவை படிகத்தின் நீளவாக்கிலோ அல்லது தடிமன் பக்கமோ இருக்கும். படிகத் துண்டின் பரிமாணங்கள் மிகக் குறைந்தவையாகவும் அதே நேரத்தில் அதன் இயற்கை அதிர்வெண் மிக அதிகமாகவும் இருத்தல் வேண்டும். இரு பக்கங்களும் இயங்கும் வகையில் தனித்திருந்தால் (free to move), எதிர்ப்பக்கங்களில் எதிர்கணுக் களோடு (Antinodes) படிகம் அதிர்வு அடையும். அதிரும் படிகத்தின் அதிர்வு எண்

$$N = \frac{p}{2l}\sqrt{\frac{q}{\rho}} \text{ அல்லது } \frac{p}{2t}\sqrt{\frac{q}{\rho}}$$

$p = 1, 2, 3, \ldots\ldots\ldots$ அடிப்படை அதிர்வு மற்றும் மேல் சுரங்களுக்கான எண்கள்

l—படிகத்தின் நீளம்

t—அதன் தடிமன்

q—யங்கின் குணகம்

ρ—அதன் அடர்த்தி

குவார்ட்ஸ் படிகத்திற்கு யங்கின் குணகம் பொருத்தமான திசையில் 8×10^{11} டைன்/ச.செ.மீ ஆகும். அதன் அடர்த்தி

2·654 கிராம்/க.செ.மீ ஆகும். ஆகவே படிகத்தில் அலையின் வேகம்

$$v = \sqrt{\frac{q}{\rho}}$$

$$= \sqrt{\frac{8 \times 10^{11}}{2 \cdot 654}}$$

$= 5 \cdot 5 \times 10^{3}$ மீட்டர்/விநாடி.

பொதுவாக t தடிமன் உள்ள ஒரு படிகத்துண்டின் அடிப்படை அதிர்வெண் (Frequency in the Fundamental mode):

$$N = \frac{1}{2t}\sqrt{\frac{q}{\rho}}$$

$$= \frac{1}{2t} \times 5 \cdot 5 \times 10^{3}$$

$= \frac{2750}{t}$ அதிர்வுகள்/விநாடி. [t-மீட்டரில் இருக்கவேண்டும்.]

0·05 மீட்டர் நீளமும் 0·005 மீட்டர் தடிமனும் உள்ள ஒரு குவார்ட்ஸ் படிகம் அதன் அடிப்படை நிலையில் அதிர்வு அடைந்தால், இரு திசைகளில் அதன் அதிர்வு எண்கள்

$$N_1 = \frac{1}{2 \times 0 \cdot 05} \times 5 \cdot 5 \times 10^{3}$$

$= 5 \cdot 5 \times 10^{4}$ அதிர்வுகள்/விநாடி.

$$N_2 = \frac{1}{2 \times 0 \cdot 005} \times 5 \cdot 5 \times 10^{3}$$

$= 5 \cdot 5 \times 10^{5}$ அதிர்வுகள்/விநாடி.

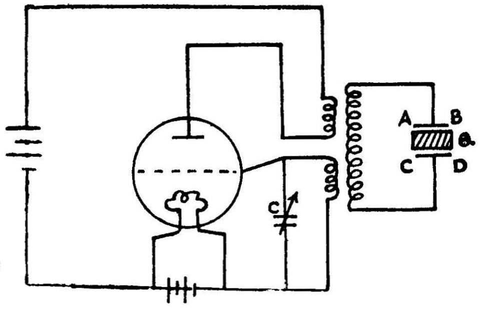
யங்கின் குணகத்தைப் பயன்படுத்தும் இந்தக்கோவை படிகத்தின் அதிர்வுக்குப் பயன்படாது. ஏனெனில் இந்தக் கோவை உலோகத்தண்டின் அதிர்வுக்காகப் பெறப்பட்டது. ஹண்ட் (Hund) என்பவர் செய்முறை வழியில் (Experimental method) அதிர்வைக்காண ஒரு கோவையைக் கண்டிருக்கிறார்.

$V = \frac{2870 \pm 5}{t}$ அதிர்வுகள்/விநாடி (t-மீட்டரில்)

17·4. அழுத்த மின்னியற்றி (Piezo electric generator)

அழுத்த மின்னியல் விளைவைப் பயன்படுத்தி செவியுணரா ஒலி அலைகளைத் தோற்றுவிக்கும் ஒரு முறையை 1917-ம் ஆண்டு லாங்கிவின் என்பவர் கண்டுபிடித்தார். மாறும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டைக் கொடுக்க அவர் ஒரு அலைவியற்றி மின்சுற்றைப் (Oscillatory circuit) பயன்படுத்தினர். படத்தில் (109) மிக எளிய மின்னியற்றி ஒன்று காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. *Q*-என்பது ஒரு குவார்ட்ஸ் படிகத்துண்டு. இது மேலே சொன்னபடி வெட்டப்பட்டிருக்கிறது. *AB*, *CD* என்ற இரு மெல்லிய உலோகத் துண்டுகளுக்கிடையே இது வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது குவார்ட்ஸ் படிகத்தை மின்கடத்தாப் பொருளாக இடையே கொண்ட ஒரு இணைத்தகடு மின்தேக்கிக்கு (Condenser) ஒப்பாகும்.

AB, *CD* தகடுகள் ஒரு கம்பிச்சுருளின் முனைகளுடன் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. இந்தக் கம்பிச்சுருள் அலைவியற்றி மின் சுற்றேடு மின்தூண்டல் முறையில் (Inductively Coupled) பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. அலைவியற்றி மின்சுற்றில் ஒரு டிரையோடு (Triode) வால்வு உள்ளது. இதனுடன் ஒரு மாறியல் மின்தேக்கி (Variable Condenser) இணைக்கப்பட்டுள்ளது இந்த அலைவியற்றி சுற்றின் அதிர்வு எண் படிகத்தின் இயல்பு அதிர்வெண்ணுக்கு சமமாக இருந்தால் ஒத்ததிர்வு ஏற்பட்டு படிகம் நீளவாக்கிலும், பக்கவாட்டிலும் நீட்சியும், குறைவும்



படம் 109

அடையும். இதனால் படிகம் அதிர்வு அடைகிறது. இந்த அமைப்பு மின்சுற்றால் காக்கப்பட்ட ஒரு அதிரும் பொருளுக்கு ஒப்பாகும். இந்த அதிரும் பொருள் செவியுணரா ஒலி அலைகளைத் தோற்றுவிக்கிறது. சுமாரான அலைவுகளை உடைய ஒரு குவார்ட்ஸ் படிகம் 540,000 அதிர்வுகள்/வினாடிக்கு உடைய ஒரு

செவியுணரா ஒலியைத் தோற்றுவிக்கும். இன்னும் அதிகமான அதிர்வு எண்களைத் தோற்றுவிக்கவும் முடியும். இதற்கு மிக மெல்லிய படிகத்துண்டுகள் தேவை. ஆனால் அவை உடைந்து விடக்கூடும். டூர்மலின் படிகத்தைப் பயன்படுத்தி $1 \cdot 5 \times 10^8$ அதிர்வெண்கள் வரை தோற்றுவிக்கலாம்.

17·5. காந்தப்பரிமாண மாற்ற விளைவு (Magnetostriction effect)

மிக அதிகமான அதிர்வெண் உடைய ஒலி அலைகளை காந்தப் பரிமாண மாற்ற விளைவைப் பயன்படுத்தித் தோற்றுவிக்கலாம். ஒரு நீண்ட இரும்பு அல்லது நிக்கல் கட்டை அதன் நீளவாக்கில் காந்தமாக்கப்படும்போது அதன் நீளம் மாறுகிறது. இதற்குக் காந்தப் பரிமாண மாற்ற விளைவு எனப்பெயர். இந்த விளைவை முதன் முதலில் ஜூல் என்பவர் கண்டுபிடித்தார். ஒரு நிக்கல் குழல் விரைவாக மாறும் ஒரு காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்பட்டால் அதன் நீளம் மாறி மாறி நீட்சியும், குறைவும் அடைகிறது. இந்த மாற்றம் காந்தப்புல மாற்றத்தைப்போல் இருபங்காக இருக்கும். நிக்கல் குழலின் இந்தப் பரிமாண மாற்றம் (நீளத்தில் நீட்சியும், குறைவும்) அதைச் சுற்றியுள்ள ஊடகத்தில் செவியுணரா ஒலிகளைத் தோற்றுவிக்கிறது. இதன் அதிர்வு எண் 8,000த்திலிருந்து 20,000 வரை இருக்கும். இந்த அதிர்வு எண் நிக்கல் குழலின் பரிமாணங்களையும் அதன் அதிர்வு நிலையையும் பொருத்து அமையும். 3,00,000 அதிர்வுகளைக்கூட இதனால் பெறமுடியும். நெட்டலை இயக்கத்தில் நிக்கல் குழல் அல்லது கட்டை அதிரும் போது அதன் இருமுனையும் தனித்து அதிர்வதாகக் கொள்ளலாம். அதனால் அதிர்வு எண்

$$N = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{q}{\rho}}$$

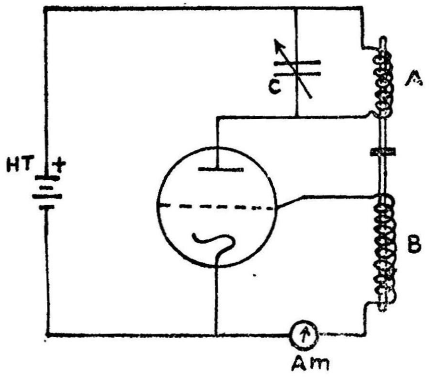
q - என்பது யங்கின் குணகம்.

ρ - அதன் அடர்த்தி

17·6 காந்தப் பரிமாண மாற்ற அலைவியற்றி (Magnetostriction oscillator)

படம் 110 ஒரு காந்தப் பரிமாண மாற்ற அலைவியற்றியைக் காண்பிக்கிறது. G. W. பியர்சு என்பவர் இதை அமைத்தார். இதில் காந்தப்பரிமாண மாற்றக் கட்டையும் ஒரு வால்வு அலைவியற்றி மின்சுற்றும் உள்ளன. அதிர்வுகள் தோன்றக்கூடிய இரும்புக்கட்டை அதன் நடுப்புள்ளியில் அசையாது பொருத்தப்

பட்டிருக்கிறது. இது *A*, *B* என்ற இரு கம்பிச்சுருள்களுக்கு உள்ளே, படத்தில் காட்டியதுபோல் வைக்கப்படுகிறது. *A*-கம்பிச்சுருள் வால்வின் தகட்டுடன் (Plate) இணைக்கப்பட்டுள்ளது. கிரிட் (Grid) சுற்றில் கம்பிச்சுருள் *B*-யும் ஒருமில்லி அம்மீட்டரும் உள்ளன. மாறியல் மின்தேக்கியைத் தேவையான அளவு மாற்றி வால்வின் தகட்டுச் சுற்றில் மிக அதிக அதிர்வெண் உடைய அலைவைத் தோற்றுவிக்கலாம். இந்த அதிக அதிர்வெண்ணுடைய மாறுமின்னோட்டம் *A* சுருள் வழியாகச் செல்லும்போது ஒரு மாறு



படம் 110

காந்தப்புலத்தை உண்டாக்கும். இந்தக் காந்தப் புலத்திலுள்ள இரும்புக்கட்டையின் நீளம் குறைந்தும், அதிகமாகியும் பரிமாணத்தில் மாற்றம் காண்கிறது. மாறும் காந்தப்புலம் *B*-சுருளால் உணரப்படுகிறது. இதனால் அதில் ஒரு மின்னியக்க விசை தூண்டப்படும். இதுவால்வின் கிரிட் (Grid) சுற்றில் இருப்பதால் தகட்டுச்சுற்றில் பொருத்தமான மாற்றங்களை ஏற்படுத்தும். இதனால் காந்தப் பரிமாண மாற்றத்தின் விளைவு அதிகமாகும். மாறியல் மின்தேக்கியை வேண்டிய அளவு சரிசெய்து கிரிட் சுற்றில் உள்ள மாறுமின்னோட்டம், தகட்டுச் சுற்றிலுள்ள மின்னோட்டத்திற்கு ஒத்ததாகச் செய்யலாம். இதனால் இரும்புக்கட்டையில் நெட்டலை வகையைச் சேர்ந்த அதிர்வுகள் தொடர்ந்து தோற்றுவிக்கப்பட்டு, காக்கப்படுகின்றன.

இந்த விளைவு இதைவிட இன்னும் நன்றாக இருக்க வேண்டுமானால் இரும்புக்கட்டை ஏற்கனவே காந்தமாக்கப்பட்டதாக இருக்க வேண்டும்.

17·7. செவியுணரா ஒலிகளைக் கண்டறிதல் (Detection ot Ultrasonics)

செவியுணரா ஒலிகளைக் கண்டறிய குண்ட் குழல் (Kundt's Tube), உணர்திறன் உடைய சுடர் (Sensitive flame) வெப்ப நிலை பகுப்பான்கள் ஆகியவை பயன்படுத்தப்படுகின்றன. குவார்ட்ஸ் படிகத்தைக்கூட பயன்படுத்தலாம்.

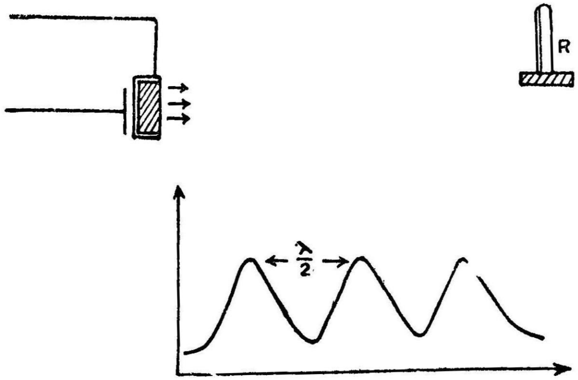
17·8. செவியுணரா ஒலியின் பயன்கள்

a. திரவங்களிலும், வாயுக்களிலும் திசைவேகம்

பியர்சு மற்றும் பலர் நிலையான அலைகள் முறையைப் பயன்படுத்தி திரவங்களிலும், வாயுக்களிலும் செவியுணரா ஒலியின் திசைவேகத்தைக் கண்டறிந்தனர். குண்ட்குழல் முறையைப் போலவே இதிலும் நிலையான அலைகள் தோன்றின. மிக அதிக அதிர்வெண் உடைய ஒலி அலைகள் அழுத்த மின்னியல் அலைவியற்றியால் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. படிகம் எதிரொலிக்கும் ஒரு பரப்புக்கு முன்னால் வைக்கப்படுகிறது. படம் 111 இந்தச் சோதனையின் அமைப்பைக் காண்பிக்கிறது. செவியுணரா ஒலியின் அலைநீளம் படிகத்தின் பரிமாணங்களுடன் ஒப்பிடப்படும்போது மிகச்சிறியதாக இருக்கும். ஆகவே படிகத்திலிருந்து தோன்றும்-செவியுணரா ஒலிகள் ஏறத்தாழ சமதள ஒலியலைகளாகவே இருக்கும் (Plane waves). இந்த அலைகள் சமதளம் *R*-ஐ நோக்கி விரையும். சமதளம் *R*-ல் எதிரொலிக்கப்பட்டு படிகத்தை நோக்கித் திரும்பும். முன்னே விரையும் ஒலியலையும் எதிரொலிக்கப்பட்ட ஒலியலையும் ஒன்றுடன் ஒன்று பொருந்தி நிலையான அலைகளைத் தோற்றுவிக்கும். எதிரொலிக்கும் சமதளப்பரப்பு ஒரு சிறிய நுண்ணிய திருகுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கும். இதைப் பயன்படுத்தி சமதளப்பரப்பை முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி அலைநீளத்தைக் கணக்கிடலாம்.

நிலையான அலைகள் தோன்றுவதை வால்வின் தகட்டுச் சுற்றிலுள்ள மின்னோட்டத்தைக் கொண்டு அறியலாம். வால்வின் தகட்டுச் சுற்றில் ஒரு மைக்ரோ அம்மீட்டர் இணைக்கப்படுகிறது. எதிரொலிக்கப்பட்ட ஒலி அலை படிகத்தை அடையும்போது தகட்டுச் சுற்றில் மின்னோட்டம் மாறுகிறது. இதை மைக்ரோ அம்மீட்டர் காட்டும். எதிரொலிக்கும் சமதளப் பரப்பை அரை அலைநீளம் $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ அளவுக்கு நகர்த்தினால் தகட்டுச் சுற்றிலுள்ள மின்னோட்டம் ஒருமுறை குறைந்து மீண்டும் துவக்க மதிப்பை அடையும். தகட்டுச் சுற்றில் மின்னோட்ட மாறுபாட்டை

(எதிரொலிக்கும் சமதளப்பரப்பின் நிலையைப் பொருத்து) படம் காட்டுகிறது.



படம் 111

தகட்டு மின்னோட்டத்தின் பெருமதிப்பு (Maximum Value) ஒலி அலையின் கணுக்களுக்கு நேரானவை. எதிரொலிக்கும் சமதளப் பரப்பு ஒலி அலையின் கணுவில் இருக்கும்போது தகட்டுச் சுற்றின் மின்னோட்டம் பெருமதிப்பாக இருக்கும். இரண்டு அடுத்தடுத்த கணுக்களை சமதளப்பரப்பின் நிலையைக்கொண்டு அறியலாம். இந்த இரு நிலைகளுக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு $\frac{\lambda}{2}$ ஆகும். இதேபோல் அடுத்தடுத்துள்ள கணுக்களுக்கான நிலைகளைக் கொண்டு அரை அலை நீளத்தை அளக்கலாம். இதன் சராசரியி லிருந்து அலைநீளம் λ கணக்கிடப்படும்.

தரமான ஒரு அலைமீட்டரைக் (Wave meter) கொண்டு படிக அலையியற்றியின் அதிர்வு எண்ணைக் கணக்கிடலாம். செவியுணரா ஒலி அலையின் வேகம்.

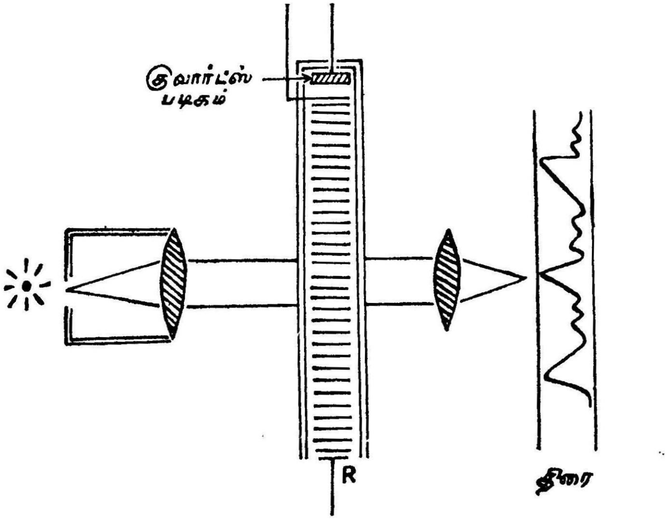
$$V = n\,\lambda.$$

இந்த முறை மிகக் குறைந்த அளவில் கிடைக்கும் வாயுக்கள், திரவங்கள் ஆகியவற்றில் ஒலியலை வேகத்தைக் கணக்கிடப் பயன் படும். செவியுணரா ஒலி அலையின் திசைவேகம் அதிர்வு எண்ணைப் பொருத்து அமையும். இந்த மாற்றத்தைக் காணவும் இந்த முறை பயன்படும்.

(b) ஒலியியல் கீற்றணி (Acoustic Grating)

பிரில்யான் (Brillouin) என்பவர் 1925-ம் ஆண்டு செவி யுணரா ஒலியின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிட மற்றொரு முறை

யைக் கண்டுபிடித்தார். ஒளியியல் விளிம்பு விளைவுக் கீற்றணிபோல் (Diffration grating), செவியுணரா ஒலியலைகள் பரவும் திரவம் அல்லது திடப்பொருள் செயல்படும் என்றார். திரவத்தில் அல்லது திடப்பொருளில் தோன்றும் இறுக்கமும் விரிவும் கீற்றணிபோல் செயல்படுகிறது. இதற்கு ஒலியியல் கீற்றணி (Acoustic Grating) என்று பெயர். ஒரு சிறிய கண்ணாடித் தொட்டியில் திரவம்நிரப்பப் படுகிறது. (படம் 112) அதன் ஒரு முனையில் படிக அலைவியற்றியும்



படம் 112

மறுபுறத்தில் எதிரொலிக்கும் சமதளப்பரப்பும் வைக்கப்படுகின்றன. இவற்றின் இடங்களைச் சரியிட்டு இடையே ஒரு நிலையான அலை தோன்றுமாறு செய்யப்படுகிறது. ஒரு மின் விளக்கிலிருந்து ஒளிக்கற்றைகள் இணையானவையாக ஒரு லென்சைப் பயன்படுத்தி மாற்றப்படுகின்றன. இந்த இணை ஒளிக் கற்றை கண்ணாடித் தொட்டியின் மேல் செவியுணரா ஒலி விரையும் திசைக்குச் செங்குத்துத் திசையில் விழுமாறு செய்யப்படுகிறது. அதன் பின் இந்த ஒளிக்கற்றை ஒரு திரையின் மீது குவிலென்சைக் கொண்டு குவிக்கப்படுகிறது. திரையின் மேல், விளிம்பு விளைவினால் ஏற்பட்ட பிம்பங்கள் கிடைக்கும். இந்த பிம்பங்கள் செவியுணரா ஒலி பரவிய திரவத்தால் தோற்றுவிக்கப்பட்டவை. திரவத்தில் ஒலிபரவும் போது தோன்றும் கணுக்கள் கணுக்களுக்கு இடைப் பட்ட இடம் ஆகியவை கீற்றணியாகச் செயல்படுகின்றன.

ஒளியியலில் கீற்றணிக்கான சமன்பாடு,

$$d \sin \theta = n \lambda.$$

இங்கு, θ—என்பது விளிம்பு வளைவுக் கோணம் (Angle of Diffraction)

d - என்பது அடுத்தடுத்துள்ள இரு கணுக்களுக்கு இடைப் பட்டத் தொலைவு.

λ - என்பது ஒலியின் அலைநீளம்.

இந்த சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி d - யின் மதிப்பைக் காண லாம். இது செவியுணரா ஒலியின் அரை அலைநீளத்திற்குச் சமம். ஆகவே ஒலியின் அலைநீளம் λ - வைக் கண்டுபிடிக்கலாம். பின்பு அலையின் வேகம் $v = n\lambda$ கணக்கிடப்படுகிறது.

(c) பருப்பொருளின் அமைப்பைக் காணல்

பருப்பொருளின் உள்ளமைப்பைக் (Structure of Matter) காண செவியுணரா ஒலியலைகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. திரவங்களிலும், வாயுக்களிலும் செவியுணரா ஒலியலையின் திசை வேகமும், அதிர்வெண்ணோடு அதன் மாறுபாடும் கண்டுபிடிக்கப்படு கின்றன. இவை அந்த ஊடகங்களின் பௌதிக - வேதியல் குணங்களாகிய (Physico - Chemical Characteristics) இறுக்குத் திறன் (Compressibility), உட்கவர் குணகம் (Abrorption Co-efficient) வேதியல் அமைப்பு (Chemical Structure) செறிவு (Con-centration) வெப்ப எண் ஆகியவற்றை வெளிப்படுத்துகின்றன. G. W. பியர்சின் கூற்றுப்படி வாயுக்களில் அதிர்வெண் அதிகமாகும் போது திசை வேகமும் அதிகமாகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, கரியமில வாயுவில் 0°Cயில் விநாடிக்கு 258·52 மீட்டர் அலை வேகத்தில் விரையும் அலையின் அதிர்வு எண் 42,000 அதிர்வுகள்/ விநாடி. ஆனால் 2,00,000 அதிர்வெண் உடைய அலை விநாடிக்கு 260·15 மீட்டர் வேகத்தில் விரையும். இன்னும் அதிகமான அதிர்வெண் உடைய ஒலி அலை கரியமில வாயுவில் உட்புகுந்து செல்லாது. இந்த அளவீடுகள் கரியமில வாயுவின் இருவெப்ப எண்களின் தகவில் தோன்றும் மாறுபாட்டைக் கண்டறியப் பயன்படுகின்றன இந்த மாறுபாடு கூட்டு மூலகங்களின் (Complex molecule) உள்ளமைப்புகளைக் (Structure) காண மிகவும் பயன்படும்.

(d) தொலைவையும் ஆழத்தையும் கணக்கிடல்

இப்போது (கடலாழத்தைக் கண்டறிய செவியுணரா ஒலி யலைகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.) முன்பெல்லாம் அமுக்கப்பட்ட காற்றைக்கொண்டு கடலாழம் கண்டறியப்பட்டது. ஆனால் அது மிகவும் எளிதற்ற, அதிகநேரம் எடுத்துக்கொள்ளும் முறையாகும். ஆகவே ஒலி எதிரொலிக்கும் முறை பயன்படுத்தப்பட்டது. இதில் கடல் நீரின் பரப்பிலிருந்து கடல் அடிமட்டம் வரை சென்று பின் அதில் எதிரொலிக்கப்பட்டு மீண்டும் நீர்ப்பரப்பிற்குத் திரும்பும், நேரம் கணக்கிடப்படுகிறது. கடல் நீரில் ஒலியின் வேகம் மிகத் துல்லியமாகக் க்ணக்கிடப்படுகிறது. வெப்ப நிலையைப் பொருத்து மாறும் திசைவேகம் கீழே காணும் கோவையால் பெறலாம்.

$v = 1410 + 4{\cdot}21t - 0{\cdot}037t^2 + 1{\cdot}145$ மீட்டர்கள்/வினடி. t-என்பது சென்டிகிரேடில் வெப்பநிலை. S-என்பது உப்புத் தன்மையைக் குறிக்கிறது. இந்த முறை வசதியானதும் மிகக் குறுகிய காலத்தில் செய்யக்கூடியதும் ஆகும்.

(தற்போது லாங்குவின் கண்டுபிடித்த அழுத்த மின்னியற்றி முறை பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதில் ஒரு சிறப்பு முறையில் தயாரிக்கப்பட்ட குவார்ட்ஸ் படிகத்தைப் பயன்படுத்தி 50,000 அதிர்வெண் உடைய செவியுணரா ஒலியலைகள் தோற்றுவிக்கப் படுகின்றன. படிகத்தின் ஒரு பக்கம் கடல் நீரின் நீர்ப்பரப்பைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும். மற்றொரு பக்கம் ஒரு நீர்ப்புகா பெட்டிக்குள் இருக்கும். மாறும் மின்னியக்கு விசை ஒரு அலை வியற்றிச் சுற்றைப் பயன்படுத்தி படிகத்தின் இரு பக்கங்களிலும் அனுப்பப்படுகிறது. (செவியுணரா ஒலி அலைகள் கடல் நீரில் கீழ் நோக்கிச் சென்று கடல் அடி மட்டத்தில் எதிரொலிக்கப்பட்டு மேல் நோக்கி வருகின்றன. ஒலியலை மேல் மட்டத்திலிருந்து அனுப்பப்பட்டுத் திரும்ப வந்து சேருவதற்கு இடைப்பட்ட நேரம் கணக்கிடப்படுகிறது. இதிலிருந்து கடலின் ஆழம் கண்டுபிடிக்கப் படுகிறது.)

(e) வான ஊர்திகள், நீர் மூழ்கிக் கப்பல்கள், உலோகங்களிலுள்ள உள்வெடிப்புகள் (flaws) ஆகியவற்றைக் காணல்

(மேலே சொன்ன முறையிலேயே தொலைவிலுள்ள வான ஊர்தியையும், நீர் மூழ்கிக் கப்பல்களையும், மூழ்கிவிட்ட கப்பல் களையும், அடித்தளத்தில் மறைந்து கிடக்கும் பனிப் பாறைகளையும் கண்டறியலாம். இந்த முறைக்கு சோனர் முறை (Sonar) எனப் பெயர்) செவியுணரா ஒலியலைகள் எல்லா திசைகளிலும் அனுப்பப்

படுகின்றன. அவை எதிரொலிக்கப்பட்டுத் திரும்பும்போது பகுத்தறியப்படுகின்றன. ஒலியலை போய்வரத் தேவையான நேரம் கணக்கிடப்பட்டு அதிலிருந்து பொருளுள்ள தொலைவு கண்டு பிடிக்கப்படுகிறது. சோனார்முறையைப் பயன்படுத்தி ஒரு கப்பலிலிருந்து மற்றொன்றிற்குத் தொடர்பு கொள்ளவும் முடியும். இந்த முறை தொழிற்சாலைகளில் பெரிய உலோக எந்திரங்களின் பகுதிகளில் அல்லது உலோகக் கட்டிகளில் உள்ள சிறிய வெடிப்புகளைக் காணவும் பயன்படுகிறது. செவியுணரா ஒலியலைகள் வெடிப்புகளில் எதிரொலிக்கப்படும்.

(f) கூட்டமாகக் கடலில் உலவும் மீன்களைக் கண்டு அவற்றைப் பிடிக்கவும் செவியுணரா ஒலி அலைகள் பயன்படுகின்றன.

(g) கடலில் கப்பல்களுக்குள்ளும், ஆகாயத்தில் விமானங்களுக்குள்ளும் செய்திகள் அனுப்பிக்கொள்ள செவியுணரா அலைகள் பெரிதும் பயன்படுகின்றன.

(h) வோல்ட்டாவின் மின்கலத்தில் ஹைடிரஜன் குமிழிகள் முனைகளை மறைப்பதினால் துருவகரணம் என்னும் குறையேற்படுகிறது. செவியுணரா ஒலி அலைகளை மின்கலத்தினுள் அனுப்பிக் குமிழிகளைக் கலைத்துக் குறையேற்படுவதைத் தடுக்கலாம்.

(i) கலக்காத இரண்டு திரவங்களை ஒரு பாத்திரத்தில் வைத்து அதன் வழியே செவியுணரா ஒலி அலைகளை அனுப்பினால் அவ்விரண்டு திரவங்களும் நன்றாகக் கலந்துவிடும்.

(j) தொலைக்காட்சி (Television) கருவியில் வரிகண்ணோட்டமிடுவதற்கு (Television Scanning) செவியுணரா ஒலி அலைகள். இப்பொழுது பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

17·9 தொழில்துறையில் செவியுணரா ஒலியின் பயன்கள்

1. செவியுணரா ஒலி அதிர்வெண்ணுடன் துடிக்கும் ஒரு கண்ணாடித் துண்டினால் கண்ணாடிப் பலகை, எஃகுத் தகடு, வைரம் முதலியவற்றில் சுலபமாகத் துளையிட முடியும். இந்தக் குணத்தைப் பயன்படுத்தி செவியுணரா ஒலி அலை துளைக்கும் கருவிகளைச் செய்து (Drills) செயற்கைப் பற்கள் செய்யும் தொழிலில் அவற்றைப் பயன்படுத்துகின்றனர்.

2. கார், உருப்பதிவுப் பெட்டி (Camera) இன்னும் மென்மையான கருவிகள் முதலியன உற்பத்தி செய்வோர் செவியுணரா ஒலி

அலைகளைப் பயன்படுத்தி பசை, தூசி, உலோகத்துகள்கள் ஆகியவற்றை அகற்றிச் சுத்தம் செய்கின்றனர்.

3. நுண்ணிய பொருள்களை சுத்தம் செய்வதற்காகக்கூட செவியுணரா ஒலி அலைக் கருவிகள் செய்யப்படுகின்றன.

4. உலோகங்களில் வெளியே தெரியாமல் உள்ளேயே பிளவுகளும், குறைகளும் இருக்கலாம். குறைகளுடன் உலோகங்கள் பயன்படுத்தப்பட்டால், அவற்றால் செய்யப்பட்ட உறுப்புக்களும், கருவிகளும் சீக்கிரமே கெட்டுவிடும். இதைத் தடுப்பதற்காக குறையுள்ள உலோகப்பகுதிகளை நீக்கி குறையற்ற பகுதிகளைக் கண்டுபிடிக்க செவியுணரா ஒலி அலைகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

5. இரண்டு திரவப் பொருள்களின் கலவையில் செவியுணரா ஒலி அலையை அனுப்பினால் நீர்க் குமிழி அல்லது திரவக் குமிழி (Cavitation) ஏற்படுகிறது. அலையை நிறுத்தியவுடன் குமிழிகலையும். அப்பொழுது அவற்றிற்குள் பெரும் அழுத்தம் ஏற்பட்டு இரண்டு திரவங்களும் இணைந்து குழம்பாகின்றன. இக்குணத்தைப் பயன்படுத்தி உருவப்படம் பிடிப்பதற்கு வேண்டிய ஃபோட்டோகிராஃபிக் தகடுகளும் மென்தாள்களும் உற்பத்தி செய்யப்படுகின்றன. இதுபோல, உலோகங்களை உருக்கி செவியுணரா ஒலி அலைகள் மூலம் கலப்பு உலோகத்தையும் செய்கின்றனர்.

6. செவிவுணரா ஒலி அலைகளால் தாக்கினால் துணிகளிலுள்ள தூசிகளும் அழுக்குகளும் சிதறிப்படர்ந்துவிடும். இக்குணத்தைப் பயன்படுத்தி செவியுணரா ஒலிச் சலவைக்கருவிகள் செய்யப்பட்டுள்ளன. இவற்றின் உதவியால் குறுகிய காலத்தில் அதிகத் துணிகளை குறைந்த செலவில் சலவை செய்யலாம்.

7. செவியுணரா ஒலி அலைகளை உபயோகித்து பாலைச் சீக்கிரம் பதனிடலாமென்று கண்டுள்ளார்கள்.

17·10. மருத்துவத்துறையில் செவியுணரா ஒலியின் பயன்கள்

1. நோய்க் கிருமிகளும், பாக்டீரியாக்களும் (Bacteria) செவியுணரா ஒலி அலைகளால் கொல்லப்படுகின்றன. எலி முதலிய பிராணிகளும் இறந்துவிடும்.

2. சொசு, ஈ முதலிய பூச்சிகளைக் கொல்லவும் ஃப்ளிட், டி. டி, டி. (D. D. T.) முதலியவற்றிற்குப் பதில் இவ்வலைகளை உபயோகிக்கலாம்.

3. பித்தக் கற்கள் (Gall stones), சிறு நீரகக்கற்கள் (Kidney stones) முதலியவற்றை உடைத்துத் தகர்க்க இவ்வலைகளைப் பயன் படுத்தலாம். பிறகு இவை இயற்கையாகவே வெளிவந்துவிடும்.

4. விநாடிக்கு சுமார் 80,000 அதிர்வுகள் செய்யும் உலோகக் கோல்களைக்கொண்டு உடலைத் தடவினால் அலைகள் உடலில் ஊடுருவிச் சென்று தசைகளை இதமாக அமுக்கிக் கொடுக்கும். அதனால் உடம்பில் ஏற்படும் பலவித வலிகளும் நீங்குகின்றன.

5. வெளிநாடுகளில் இப்பொழுதெல்லாம் ஒரு புதிய ஊன்று கோல் (Walking stick) செய்கின்றனர். அதில் செவியுணரா ஒலி அலைகளை அனுப்பவும் வாங்கவும் கருவிகள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. அதன் உதவிகொண்டு கண் தெரியாதவர்கள் நன்றாக நடக்கலாம். செவியுணரா ஒலி அலைகளை வெளியனுப்பினால் அவை சென்று வழியில் உள்ள தடைகளில் பட்டு எதிரொலிக்கின்றன. திரும்பும் அலைகளை வாங்கி, அவை வரும் திசையிலிருந்து தடைப்பொருள்கள் இருக்கும் இடத்தை அறிந்து அவற்றைத் தவிர்க்கலாம்.

6. அறுவைச் சிகிச்சையில் இப்பொழுதெல்லாம் கத்திக்குப் பதில் செவியுணரா ஒலி அலைகளைப் பயன்படுத்தலாம் என்று கண்டுபிடித்துள்ளனர். இவ்வலைகளை உடலுக்குள் பிணியுற்ற பகுதிக்குச் சரியாக அனுப்பி, அழித்து மற்ற இடங்களை பாதிக் காமல் சிகிச்சை செய்கின்றனர். இதே முறையில் மூளையில் அறுவைச் சிகிச்சையும் செய்யப்படுகிறது.

வினாக்கள்

1. செவியுணரா ஒலியலைகள் யாவை? அவை எப்படித் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. அவற்றைக் கண்டுபிடிப்பது எப்படி?

2. அழுத்த மின்னியற்றி விளைவு என்றால் என்ன? இது செவியுணரா ஒலியலைகளைத் தோற்றுவிக்க எவ்வாறு பயன்படு கிறது?

3. செவியுணரா ஒலியலைகள் என்பவை யாவை? அவற்றின் திசைவேகத்தை *(a)* நிலையான அலைகள் முறை *(b)* ஒலியியல் கீற்றணி முறை ஆகியவற்றில் எவ்வாறு கண்டுபிடிப்பாய்?

4. காந்தப்பரிமாண மாற்றம் என்றால் என்ன? அதைப் பயன்படுத்தி மிக அதிகமான அதிர்வெண்ணுடைய ஒலியலைகளை எவ்வாறு தோற்றுவிப்பாய்?

5. 'செவியுணரா ஒலி அலைகள்'—ஒரு சிறு கட்டுரை வரைக.

6. கீழ்க்காண்பவற்றிற்கு சிறு குறிப்பு வரைக.

(a) காந்தப் பரிமாண மாற்ற அலைவியற்றி.

(b) ஒலியியல் கீற்றணி

(c) செவியுணரா ஒலியலைகளின் பல்வேறு பயன்கள்.

7. ஒரு குவார்ட்ஸ் படிகத்தகடு அடிப்படை வகையில் அதிரும்போது அதன் அதிர்வெண் $N = \frac{2 \cdot 87 \times 10^3}{t}$,

N-அதிர்வுகள்/விநாடியிலும், t-படிகத்தகட்டின் தடிமன் மீட்டரிலும் இருக்கிறது.

(a) குவார்ட்ஸ் தகட்டின் யங்கின் குணகம் (b) விநாடிக்கு 1200 கிலோ அதிர்வுகளைத் தோற்றுவிக்கத் தேவையான தகட்டின் தடிமன் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடு. குவார்ட்ஸின் அடர்த்தி $= 2 \cdot 66$ கிராம்/க.செ.மீ.

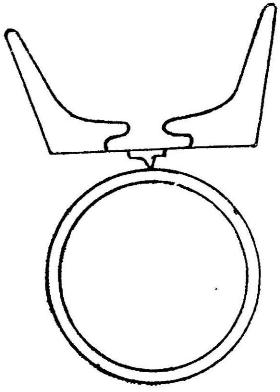
18. ஒலிப்பதிவும், ஒலி மீட்பும்

(Recording and Reproduction of Sound)

1878-ம் ஆண்டு பெல் (Bell) என்பவர் ஒரு மெழுகு நீள் உருளையில் ஒலியைப் பதிவு செய்து அதன்மீது ஒரு ஊசியை ஓட வைத்து ஒலி மீட்பு செய்து காட்டினார். அதே ஆண்டில் எடிசன் என்பவர் இதே முறையில் ஒரு வட்டமான தட்டில் ஒலிப்பதிவு செய்யும் முறையைக் கண்டுபிடித்தார். இதற்கு வட்டத்தட்டு ஒலிப்பதிவு (Disc Recording) எனப் பெயர்.

18·1. வட்டத்தட்டு ஒலிப்பதிவு (Disc Recording)

இதில் கூம்பு வடிவுடைய ஒரு பகுதியும் (Conical horn) தட்டும் உள்ளன. கூம்பு வடிவத்தில் குறுகிய பகுதியில் ஒரு மெல்லிய இடைத் திரை இருக்கும். இந்த இடைத்திரையின் நடுப்பகுதியில் ஒரு மெல்லிய ஊசி பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இந்த ஊசியுடன் நெம்புகோல் அமைப்புகள் இணைக்கப் பட்டுள்ளன. ஊசியின் முனை எப்போதும், சுற்றிக்கொண்டிருக்கும் வட்டத்தட்டைத் தொட்டுக் கொண்டு இருக்கும். தட்டு சீரான சுழல் வேகத்துடன் அதன் நடுப்புள்ளியைப் பற்றி சுற்றிக் கொண்டிருக்கும்.



படம் 113

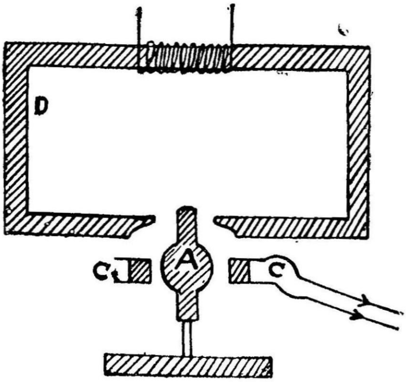
18·2. வட்டத்தட்டு

வட்டத்தட்டு என்பது ஒரு உலோகத்தாலான வட்டமான தட்டு ஆகும். இதன்மீது மெழுகு பூசப்பட்டிருக்கும். இந்தத் தட்டு ஒரு குறிப்பிட்ட சுழல்வேகத்தில் சுருள் வடிவில் சுழலுமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கும்.

கூம்பு வடிவக் கொம்பிற்கு (conical horn) முன்னால் ஒருவர் பேசினால் ஒலியலைகள் கூம்பின் குறுகிய பகுதியை நோக்கிச் செல்லும். அவை அங்குள்ள மெல்லிய இடைத்திரையை அதிர வைக்கும். இத்துடன் இணைக்கப்பட்ட ஊசி மெழுகின்மீது ஒலியலைகளுக்கு ஒப்பான கீறல்களைத் தோற்றுவிக்கும். இந்த மெழுகுப் பதிவை செம்பின் உதவிக்கொண்டு ஒரு செம்புப்படிவம் எடுக்கப்படுகிறது. இந்த செம்புப்படிவம் எடுக்க மின்பகுப்பு முறை பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதிலிருந்து வேண்டிய அளவு படிவங்கள் எடுத்துக் கொள்ளலாம்.

18·3 மின்னியல் முறையில் பதிவு செய்தல்

கூம்பு வடிவக் கொம்பினைக் கொண்டு பதிவு செய்யும் முறை சரியாக இல்லாததால் மின்னியல் முறை இப்போது பயன்படுத்தப் படுகிறது. இதில் D என்ற ஒரு மின்காந்தம் இருக்கிறது. (படம் 114) A என்பது தேனிரும்பில் செய்யப்பட்ட ஒரு



படம் 114

ஆர்மச்சூர் (Armature) ஆகும். இதைச் சுற்றி C, C_1 என்ற இரு மின் சுருள்கள் சுற்றப்பட்டுள்ளன. இந்த ஆர்மெச்சூருக்கு ஒரு முள் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இந்த முள்ளால் இங்கும், அங்கும் அசையவும், அதிரவும் முடியும். மைக்ரோஃபோனிலிருந்து வரும் மாறுதிசை மின்னோட்டம் பெருக்கப்பட்டு ஆர்மெச்சூரைச் சுற்றியுள்ள மின் சுருளுக்கு கொடுக்கப்படுகிறது. இப்போது ஆர்மச்சூர் A ஒரு மாறுதிசை மின்னோட்டத்திற்கு உட்படுத்தப் பட்டு, மின் காந்தத்தின் புலத்தில் இருப்பதால் ஒரு மாறும் விசையை உணருகிறது. இந்த விசை மைக்ரோஃபோன் மேல் படும், ஒலி அலைகளைப் பொருத்து இருக்கும். ஆர்மெச்சூரின்

அசைவுகளும், அதிர்வுகளும் ஊசியினுல் மெழுகுத் தட்டில் பதிக்கப்படுகின்றன.

இந்த முறையில் உள்ளே வரும் ஒலியின் வலிமையைக் கூட்டவோ, குறைக்கவோ முடியும். இதனுல் மற்ற ஒலிகளினுல் ஒலிப்பதிவு பாதிக்கப்படாமல் காக்கவும் முடியும்.

18·4. பதிவு செய்யப்பட்ட ஒலிப்பதிவுத் தட்டுகளிலிருந்து ஒலியைத் திரும்பப் பெறுதல் — ஒலி மீட்பு

பதிவு செய்யப்பட்ட ஒலியை ஒலிப்பதிவுத் தட்டிலிருந்து இரு முறைகளில் திரும்பப் பெறலாம். அவையாவன 1. ஒலியியல் முறை 2. மின்னியல் முறை:

1. ஒலியியல் முறை

இதில் நீள் உருளை வடிவமான ஒரு ஒலிப்பெட்டி இருக்கிறது. இதன் ஒரு முனையில் ஒரு கூம்பு வடிவமுடைய கொம்பு இருக்கிறது. மற்ருெரு முனையில் உலோகத்தால் அல்லது மைக்காவால் ஆன ஒரு இடைத்திரை இருக்கும். ஒலிப் பெட்டியின் நடுவில் நிறுத்தப் பட்டுள்ள ஒரு நெம்புகோல் இடைத்திரையின் நடுப்புள்ளியில் இணைக்கப்பட்டிருக்கும். நெம்புகோலின் அடிப்பகுதியில் ஒரு திருகைக் கொண்டு ஒரு மெல்லிய ஊசி பொருத்தப்பட்டிருக்கும். ஒலிப் பெட்டி ஒரு நீண்ட சட்டத்தில் பொருத்தப் பட்டிருப்பதனுல் அதை எந்தப் பக்கம் வேண்டுமாளுலும் திருப்பி அமைக்கலாம். ஒலிப்பதிவு செய்யப்பட்ட தட்டு ஊசிக்கு நேர் கீழே வைக்கப் படுகிறது. ஊசி அதன்பதிவுக் கோட்டின் மேல் நேர் செங்குத்தாக சற்று அழுத்தத்துடன் தொட்டுக் கொண்டிருக்குமாறு அமைக்கப் படுகிறது. தட்டு சுழலும் போது ஊசி, தட்டின் மேலுள்ள அலை வடிவ கீறல்கள் மீது நகர்ந்து செல்லும். இதனுல் ஊசி அதிர் வடைகிறது. இந்த அதிர்வுகள் நெம்பு கோல் அமைப்பால் இடைத்திரைக்கு செலுத்தப்படுகின்றன. இடைத்திரையில் அதிர்வுகள், ஒலியை மீண்டும் தோன்றச் செய்கின்றன. கொம்பு ஒலியைப் பெருக்கி வெளியிடுகிறது. இந்த முறையில் வெளிப் படும் ஒலியின் ஆற்றல் மிகக் குறைவாக இருக்கும்.

2. மின்னியல் முறை

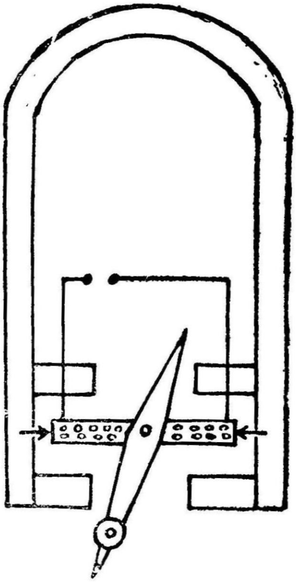
இந்த முறைக்கு அடிப்படைத்தத்துவம் ஊசி பொருத்தப் பட்ட ஒரு இரும்பு ஆர்மெச்சூர் ஒரு நிலையான காந்தப் புலத்தில் அதிரும் போது இந்த ஆர்மெச்சூரில் ஒரு மாறுமின்னியக்கு விசை தோன்றுகிறது. ஏனெனில் ஆர்மெச்சூர் காந்தப் புலத்தில்

அதிரும் போது காந்தப் பாய்வு (Magnetic flux) மாறும். இப்படித் தோன்றும் மின்னியக்கு விசையைப் பெருக்கி ஒலிப்பான்கள் (Loud Speaker) மூலம் வேண்டிய அளவு ஒலியைப் பெறலாம்.

படிக ஒலிமீட்புக் கருவியில் (Crystal pickup) ஊசியின் அதிர்வுகள் ஒரு படிகத்தின் மீது அழுத்த வேறுபாட்டை உண்டாக்குகிறது. இதனுல் படிகத்தில் ஒரு அழுத்த மின்னேட்டம் (Piezo Electricity) தோன்றுகிறது. இந்த மின்னேட்டத்தால் தோன்றும் விசை பெருக்கியால் பெருக்கப்பட்டு ஒலிப்பானுல் ஒலியலைகளாக மாற்றப்படுகின்றன.

18·5. காந்த ஒலி மீட்புக் கருவி (Magnetic pick-up)

இதில் நான்கு காந்த முனைகள் (Magnetic poles) இருக்கின்றன. இவை ஒரு லாட காந்த அமைப்பை ஒத்தவை. மெல்லிய கம்பியினுலான ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியைப்பற்றி அதிரும் வண்ணம் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. கம்பிச் சுருளின் இரு முனைகளும் ஒலிபெருக்கிக்கு இணைக்கப்படுகின்றன. ஒலிப் பெருக்கியிலிருந்து ஒரு ஒலிப்பானுக்கு இணைப்புகள் கொடுக்கப்படுகின்றன.


படம் 115

இந்த முறையில் ஒலி மீட்பு செய்வதில் சில நன்மைகள் உண்டு. ஒலிப்பதிவு செய்யப்பட்ட வட்டத் தட்டின்மீது நகரும் ஊசி அதிகம் அழுத்தாமல் மென்மையாக இருந்தாலே போதுமானது. இதனுல் பதிவு செய்யப்பட்ட தட்டு கெடாமல் நீண்ட நாட்களுக்குப் பயன்படும். பெருக்கியின் உதவிகொண்டு வெளிப்படும் ஒலியின் வலிமையைக் கூட்டவோ, குறைக்கவோ செய்யலாம்.

18·6 ஒளியியல் முறையில் பதிவு செய்தல் (Optical Recording)

ஏறத்தாழ 1900-ம் ஆண்டு ரம்மர் (Ruhmer) என்பவர் ஒளி இயல் முறையில் ஒலியைப் பதிவுசெய்யும் முறையைக் கண்டறிந்தார். அவர் கையாண்ட முறை மிகவும் எளிதானது. ஒலியாற்ற

லானது மைக்ரோஃபோனின் உதவிகொண்டு, மின்னலைவுகளாக (Electrical Oscillation) மாற்றப்படுகின்றது. இந்த மின்னலைவு கள் கேட்கும் எல்லைக்குறிய அதிர்வெண்களைக் (Audio—Frequency) கொண்டிருக்கும். இந்த மாறுமின்னோட்டம் (Varying Current) ஒரு மின்வில் விளக்கிற்கு (arc-lamp) கொடுக்கப்படுகிறது· இதனால் வில் விளக்கின் ஒளிச்செறிவு (Intensity of light) மின் னோட்டத்தின் அளவிற்கேற்றவாறு மாற்ற முறுகிறது (Fluctuates). இந்த மாற்றமுறும் ஒளி ஒரு புகைப்பட மெல்லிய ஏட்டின் (Photographic film) மீது படும்படி செய்யப்படுகிறது. இதனால் மெல்லிய ஏட்டின்மீது பதிவு ஏற்படும். இப்படி பதிவு செய்யப் பட்ட ஒலியைத் திரும்பப்பெற இந்த மெல்லிய ஏடு ஒரு வில் விளக்கின் முன்னால் வேகமாக நகர்த்தப்படும். ஏட்டின் மீதுள்ள பதிவு செய்யப்பட்ட பகுதியின் நிழல் ஒரு செலினியம் (Selinium) மின்கலத்தின் மீது படுமாறு செய்யப்படுகிறது. இதனால் செலினியம் மின்கலத்தில் ஒரு மாறு மின்னழுத்த வேறுபாடு (Fluctuating Voltage) தோன்றும். ஏனெனில் செலினியம் மின் கலத்தில் ஒளியின் தன்மைக்குத் தகுந்தவாறு அதன் மின்தடை மாறுகிறது. மின்கலத்தில் தோன்றும் மின்னழுத்த வேறுபாடு தகுந்த அளவு பெருக்கப்பட்டு ஒரு ஒலிப்பானிற்குக் கொடுக்கப் படுகிறது. ஒலிப்பான் இதை ஒலியலைகளாக மாற்றிக் கொடுக் கிறது. இந்த முறையில் மாற்றமுறும் மின்னோட்டம் மிகவும் குறைமதிப்பு உடையதாய் இருப்பதால் ஒலிப்பதிவு நன்றாக அமை வதில்லை. இத்துடன் வேண்டிய அலைவு பெருக்கமும் அடைய முடியாது. 1927-ம் ஆண்டு டி பாரஸ்ட் (De-Forest) என்பவர் டிரையோடு வால்வைக் கண்டு பிடித்தபின் ஒலியைப் பெருக்குவது எளிதாகிறது. எனவே இந்தமுறை நடைமுறைக்கு ஏற்றதாக தொழில் துறையில் முக்கியத்துவம் அடைந்தது. இந்த முறை அன்றிலிருந்து பல முன்னேற்றங்கள் அடைந்து இன்று இரு முறைகளில் திரைப்படங்களில் ஒலிப்பதிவு செய்யப் பயன்படுத்தப் படுகிறது :

1. மாறுபடு அடர்த்தி முறை (Variable Density Method).

2. மாறுபடு பரப்பளவு முறை (Variable area Method).

மாறுபடு அடர்த்தி முறை

இந்த முறையில் மாறுபடு செறிவு ஒளி மெல்லிய புகைப்பட ஏட்டின்மீது படுமாறு செய்யப்படுகிறது. இதனால் புகைப்பட மெல்லேட்டில் மாறுபடு அடர்த்தியை உடைய பதிவு கிடைக்கும். ஒளிச்செறிவை கீழ்க்காணும் ஏதாவதொரு முறையில் மாறுபடு மாறு செய்யலாம்.

(*a*) ஒளியின் மூலத்திலேயே அதன் செறிவை மாறுபடுமாறு செய்தல்.

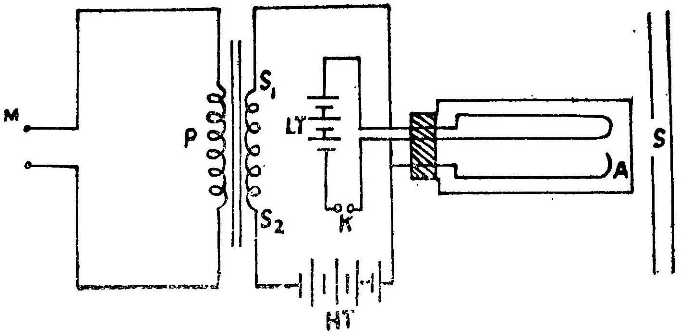
(*b*) ஒளி, மூலத்தைவிட்டு வெளிவந்த பின் அதன் செறிவு மாறுபடுமாறு செய்தல்.

இதில் ஏயோ விளக்கு என்ெறுரு விளக்கு இருக்கிறது. இது ஒரு சிறப்பு வகை வால்வு ஆகும். இது ஹீலியம் வாயுவால் நிரப்பப்பட்டிருக்கிறது. இதனுள் ஒரு இழையும் (Filament) ஒரு தகடும் (Plate) உள்ளன. இது ஒரு சாதாரண டையோடு வால்வை ஒத்திருக்கும். இதன் இழைமீது பேரியம் ஆக்ஸைடு பூசப்பட்டிருக்கிறது. இதனுல் இந்த இழை மிகுந்த அளவில் எதிர் மின்னணுக்களை (Electrons) கொடுக்க வல்லது. படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் இந்த இழைக்கு ஒரு குறை மின்னழுத்த மின்கல அடுக்குக்கும் (Low-tension battery), இதனுள் இருக்கும் தகடுக்கு ஒரு உயர் மின்னழுத்த மின்கல அடுக்குக்கும் (High Tension battery) இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இழையில் மின்னேட்டத்தைச் சற்று நேரம் ஓடவிட்டால் அதில் ஒரு பொலிவு (Glow) தோன்றும். இது தோன்றிய உடன் இழையில் உள்ள மின்னேட்டம் நிறுத்தப்படுகிறது. உயர் மின்னழுத்தம் இந்த விளக்கிலிருந்து போதிய அளவு ஒளிவரும் அளவிற்குச் சரி செய்யப்படுகிறது. இந்த விளக்கு மங்கலாகவும், ஒளி மிகுந்தும் எரியக்கூடும். மங்கலான ஒளியிலிருந்து பொலிவு மிக்க ஒளியைத் தர மிகக் குறைந்த நேரமே தேவைப்படும். இது கோடியில் ஒரு பங்கு விஞடியில் (10^{-8} விஞடி) ஒளியின் செறிவை மாற்றக் கூடியது. இந்த விளக்கின் முன்னுல் ஒரு பிளவு (Slit) வைக்கப்படுகிறது, பிளவுக்கு இந்த விளக்கிலிருந்து ஒளி கிடைக்கும். இதனுல் பிளவை அடுத்துள்ள புகைப்பட மெல்லேட்டின் மீது மாறு செறிவுடைய பதிவுகளை உண்டாக்க முடியும்.

18·8. பதிவு செய்யும் முறை

M என்பது (படம் 116) ஒரு மைக்ரோஃபோன். இது ஏற்று மின்மாற்றியின் (Step-up transformer) முதன்மை சுற்றுக்கு (*P*) இணைக்கப்படுகிறது. S_1, S_2 என்பவை இந்த மின்மாற்றின் துணைச் சுருளின் முனைகளாகும். இவை ஏயோ விளக்கின் உயர் மின்னழுத்த மின்கல அடுக்கின் வழியாக அதன் தகட்டிற்கு (*A*) இணைக்கப்படுகின்றன. ஏயோ விளக்கின் இழை, குறை மின்னழுத்தத்திற்கு இணைக்கப்படுகிறது. *K* என்ற சாவி இழை மின்னேட்டத்தை (Filament current) நிறுத்தவோ, கொடுக்கவோ பயன்படுத்தப்படுகிறது. *S* என்ற பிளவு புகைப்பட மெல்லேட்

டிற்கும் ஏயோ விளக்கிற்கும் இடையே உள்ளது. மெல்லேடு கீழ் நோக்கி நகர்ந்து கொண்டிருக்கும்.



படம் 116

மைக்ரோஃபோன் முன்னால் ஒலி எழுப்பப்படும்போது மின் துடிப்புகள் (Electrical pulses) தோன்றுகின்றன. இந்தத் துடிப்புகள் முதன்மைச் சுருள் வழியாகச் செல்லும்போது துணைச் சுருளில் மிகுந்த மின்னழுத்தத்தைத் தூண்டுகின்றன. மின்கல அடுக்கின் மாறா உயர் மின்னழுத்தத்தோடு இந்தத் துடிப்பின் மின்னழுத்தம் பொருந்துகிறது. இதனால் வால்வின் தகட்டில் மின்னழுத்த மாறுபாடு ஏற்படும். இது விளக்கின் ஒளிச்செறிவு மாறுமாறு செய்கிறது. பிளவுக்குப் பின்னால் கீழ்நோக்கி நகர்ந்துகொண்டிருக்கும் மெல்லேடு விளக்கிலிருந்து பிளவுவழி வரும் ஒளியால் ஒளியூட்டம் பெறுகிறது. மின்துடிப்பின் வலிமையைப் பொருத்து ஒளியின் செறிவும் ஒளியூட்டமும் மாறுபடும். மெல்லேட்டின்மீது ஏற்படும் பதிவும் அதற்கேற்றாற்போலவே இருக்கும். மெல்லேடு டெவலப் (Develop) செய்யப்படும்போது அதன்மீது ·01 அங்குலம் தடிமனுடைய ஒரு ஒலிப்பாதையைக் (Sound Track) காண்பிக்கும். இந்த ஒளிப்பாதையின் ஒளிக்கடத்தாத் தன்மை (Opacity) மின் துடிப்பிற்குத் (Electrical pulses) தக்கவாறு அமைந்திருக்கும். இதிலிருந்து நேர்மெல்லேடுகள் (Positive films) பெறப்படுகின்றன.

இந்த முறையிலுள்ள குறைகள்

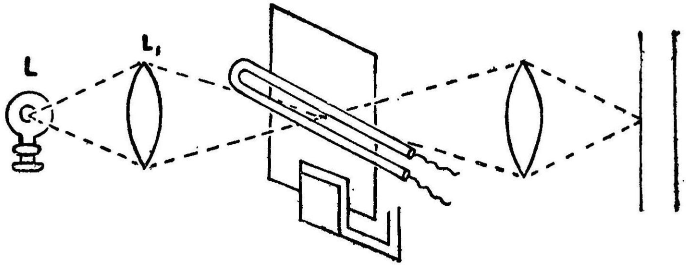
1. பிளவிலிருந்து வெளிவரும் ஒளியின் கோணம் அதிகமாக இருப்பதால் புகைப்பட மெல்லேட்டை பிளவையொட்டிவைக்க வேண்டியிருக்கும். இதனால் பிளவுடன் மெல்லேடு இருக்கும் போது அது கீழ்நோக்கி நகருவது எளிதாக இருக்காது.

2. ஒளியூட்டும் மூலம் மிகவும் குறைவாக இருக்கும். இதனால்

பதிவு செய்யப்படும் ஒலியின் அதிர்வு எல்லை (Range) அதிகமாக இருக்காது.

18·9. மூடிமுறை (Shutter Method)

இதில் '*L*' என்ற டங்ஸ்டன் இழையுடைய ஒரு விளக்கு இருக்கிறது. இதிலிருந்து வரும் ஒளி L_1 என்ற குவிவில்லையால் ஒரு ஒளி வால்வின் துளையின் (Aperture) மீது குவிக்கப்படுகிறது. இந்த ஒளி வால்வுத்துளை என்பது இரண்டு டியூராலினம் நாடாக்களுக்கு இடையேயுள்ள சிறிய இடமாகும். இது படத்தில் *ABCD* எனக் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. நாடாக்கள் *NS*-என்னும் காந்தபுலத்திற்கு செங்குத்துத்திசையில் இருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டு ஒலி பெருக்கிக்கும் (amplifier) ஒரு மைக்ரோஃபோனுக்கும் இணைக்கப்படுகின்றன.



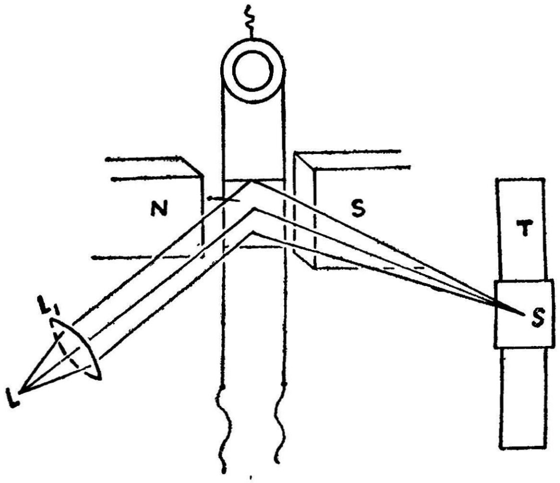
படம் 117

மைக்ரோபோன் முன்னால் ஒலி எழுப்பப்படும்போது அதில் மின்துடிப்புகள் தோன்றுகின்றன. இவை பெருக்கியால் பெருக்கப்படுகின்றன. பெருக்கப்பட்ட மின் அலைவுகள் நாடாக்களின் வழியாக செல்லும்போது அதன்மீது துளையின்மீது ஒரு மின் இயங்கு விசை தோன்றும் (Electrodynamic force). இந்த விசையின் திசை பிளமிங்கின் இடதுகை விதிக்கிணங்க மின்னோட்டத்தின் திசை, காந்தப் புலத்தின் திசை, இரண்டிற்கும் செங்குத்தாக இருக்கும். இந்த மின்னோட்டத்தைப் பொருத்து துளை திறப்பதும், மூடுவதுமாக இருக்கும். இதனால் இதன் வழியே செல்லும் ஒளியின் செறிவு மாறிக் கொண்டேயிருக்கும். இதை அடுத்து புகைப்பட மெல்லேடு குறிப்பிட்ட வேகத்தில் ஓட்டப்படுகிறது. மெல்லேட்டின் மீது பதிவு ஏற்படும்.

18·10. மாறுபடு பரப்பளவு முறை (Variable Area Method)

இந்த முறையில் ஒலிப்பதிவின் அகலம் ஒலியின் வலிமைக்கேற்றவாறு மாறுபடுகிறது. இம்முறையில் முக்கியமானது ஒரு

அலைவரைவி ஆகும். (Oscillograph) இதில் பாஸ்பர்பிரான்ஸால் (Phospher bronze) செய்யப்பட்ட ஒரு நீள வளையம் (Strip) இருக்கிறது. இதுதான் அதிரும் அல்லது நகரும் பகுதி ஆகும். இது ஒரு ஆற்றல் மிகுந்த காந்தத்தின் புலத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. காந்தத்தின் வடிவம் இதற்காகவே சிறப்பாகச் செய்யப்பட்டுள்ளது. இந்த பாஸ்பர்பிரான்ஸ் வளையம் ஒரு கப்பியின்மீது நகருமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கும். கப்பி ஒரு சுருள் வில்லில் (Spring) பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இந்த வளையம் இரண்டு காந்தத் துண்டுகளின்மீது அமைந்திருப்பதால் அதன் அதிர்வு காந்தப்புலத்திற்கு உள்ளேயே இருக்கும்படி செய்யப்படுகிறது. ஒரு சிறிய கண்ணாடித் துண்டு (M) இந்த வளையத்தில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். பாஸ்பர்பிரான்ஸ் வளையம் பெருக்கி வழியாக மைக்ரோஃபோனுக்கு இணைக்கப்படுகிறது. மைக்ரோஃபோன் முன்னால் ஒலி எழுப்பப்படும்போது கேட்கும் எல்லைக்குள் உள்ள அதிர்வெண்ணுடைய மின் அலைவுகள் தோன்றுகின்றது. இவை பெருக்கப்படுகின்றன. பெருக்கப்பட்ட மின்னோட்டம் வளையத்தில் செல்லும்போது அதன் மீது $\frac{Hil}{10}$ டைன் விசைகள் இருபக்கங்களிலும் செயல்படுகின்றன. H என்பது மின் காந்தப் புலத்தின் வலிமையையும், l வளையத்தின் நீளத்தையும் குறிப்பிடுகின்றன. i என்பது மாறும் மின்னோட்டம். ஆதலால் வளையமும், அத



படம் 118

னுடன் பொருத்தப்பட்ட கண்ணாடித் துண்டும் அதிர்வடைகின்றன. ஒரு ஒளிக்கற்றை இந்தக் கண்ணாடித் துண்டின் மீது

படும்படி செய்யப்பட்டு எதிரொளிக்கப்படுகிறது. எதிரொளிக்கப் பட்ட ஒளி ஒரு பிளவின் (S) மீது விழும். பிளவுக்குப் பின்னால் புகைப்பட மெல்லேடு (T) நகர்ந்து கொண்டிருக்கும். மெல்லேடு வினாடிக்கு ஏறத்தாழ 45 செ.மீ. வேகத்தில் நகர்ந்து கொண் டிருக்கும். வளையமும், கண்ணாடியும் அதிரும்போது அதற்கேற்ற வாறு எதிரொளிக்கப்படும் ஒளிக்கற்றை இங்கும் அங்கும் நகர்ந்து மெல்லேட்டின் மீது பதிவு செய்யும். மெல்லேடு டெவலப் செய்யப் பட்டால் அதன் மீது சீரான ஒளி புகாத் தன்மை (Opacity) உடைய, ஆனால் மாறும் பரப்பளவுடைய ஒரு ஒலிப்பாதை (Sound track) தென்படும். இதுஒரு எதிர்ப்பதிவு(Negative Record) ஆகும். இதிலிருந்து நேர்ப் பதிவு (Positive Record) எடுத்தால் அதில் சீரான ஒளி புகும் தன்மையுடைய (Transparancy) ஒலிப் பாதை கிடைக்கும். ஒளிபுகு பகுதியின் பரப்பு பதிவு செய்யப் பட்ட ஒலியின் வலிமைக்கு ஏற்றவாறு இருக்கும்.

18·11. மெல்லேடுப் பதிவிலிருந்து ஒலிமீட்பு (Reproduction)

ஒலி மீட்புக் கருவியின் பகுதிகள் பின் வருமாறு:

1. ஒலிப்பாதை ஒரு ஆற்றல் மிகுந்த விளக்கால் ஒளியூட்டப் படுதல். இதனால் ஒலிப்பாதையில் மாறுபடும் ஒளிச் செறிவு கிடைக்கிறது.

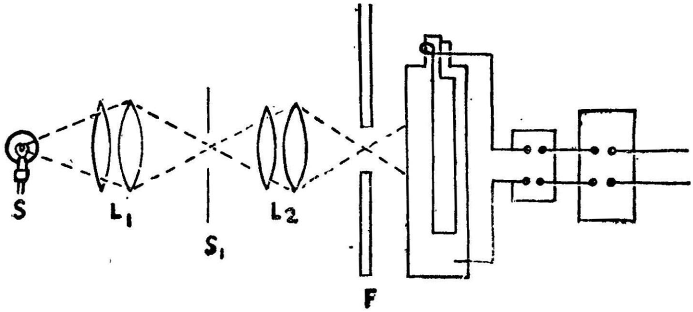
2. ஒளியை அதற்கேற்ற மின்னோட்டமாக மாற்றல்.

3. இந்த மின்னோட்டத்தை வேண்டிய அளவு பெருக்குதல்.

4. பெருக்கப்பட்ட மின்னோட்டத்தை ஒலியலைகளாக மாற்றல்.

S என்ற ஆற்றல் மிக்க விளக்கிலிருந்து கிளம்பும் ஒளி, L_1 என்ற குவி வில்லையால் குவிக்கப்பட்டு, S_1 என்ற பிளவின் மீது விழுகிறது. இந்தப் பிளவின் பிம்பம் L_2 என்ற குவி வில்லையால் ஒரு மெல்லேட்டு வாயிலில் F (Film Gate) தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. இந்த மெல்லேட்டு வாயிலின் அகலம் ஒலிப்பாதையின் அகலத் திற்கு (ஏறத்தாழ ·005 செ.மீ.) சமமாக இருக்கும். இதிலிருந்து வரும் ஒளி, ஒலிப்பாதையின் மீது விழுகிறது. ஒலிப்பாதையைத் தாண்டி வெளி வரும் ஒளி பதிவுக்கேற்றவாறு ஒளிச் செறிவின் மாறுபாடுகளைக் கொண்டதாக இருக்கும். இது ஒரு ஒளி-மின் கலத்தின் (Photo-electric cell) மீது படும்படி செய்யப்படுகிறது. ஒளிச் செறிவு மாறுபாட்டிற்கு ஏற்றவாறு, ஒளி மின் கலத்தில் மாறு மின்னோட்டம் தோன்றுகிறது. இந்த மாறு மின்னோட்டத்

தின் அதிர்வு எண்ணும், அளவும் பதிவீட்டிற்கு ஏற்றதாக இருக்கும். இது பின்பு வழக்கம்போல் பெருக்கப்பட்டு ஒலிப்பாஞல் ஒலியலைகளாக மாற்றப்படுகின்றது.



படம் 119

18·12. காந்த முறை ஒலிப்பதிவீடு (Magnetic recording of Sound)

போல்சன் (Poulson)என்பவர் ஒரு எஃகின் காந்தப் பண்புகளை ஒலிப்பதிவிற்கு முதன் முதலில் பயன்படுத்திஞர். கொடுக்கப்பட்ட காந்த ஆற்றலைத் தேக்கி வைத்துக்கொள்ளும் திறன் எஃகிற்கு உண்டு. அதே நேரத்தில் கொடுக்கப்பட்ட ஆற்றலை நீக்க ஒரு எதிர்விசைத் தேவை. இந்த இரு பண்புகளும் ஒலிப்பதிவுக்காகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

ஒரு காந்த ஒலிப்பதிவுக் கருவியிலுள்ள பாகங்கள்

1. ஒரு காந்தக் கம்பி அல்லது நாடா. இது ஒரு சீரான வேகத்துடன் ஓட்டப்படுகிறது.

2. கம்பி அல்லது நாடாவில் ஏற்கனவே உள்ள காந்த ஆற்றலை அழிக்கும் கருவி (Wiping Head).

3. பெருக்கப்பட்ட மைக்ரோஃபோன் மின்ஞேட்டத்திஞல் மாறுபாட்டையும் காந்தப் புலத்தையும் கொடுக்கும் பதிவு ஏற்பாடு.

4. நாடாவிலுள்ள காந்த மாறுபாடு மாறு மின்ஞேட்டத்தை தோற்றுவிக்கக் கூடிய பகுதி.

5. மின்ஞேட்டத்தைப் பெருக்கி, ஒலியாக மாற்றக்கூடிய பெருக்கியும், ஒலிப்பானும்.

1. சீரான வேகத்தில் ஓடும் காந்தக்கம்பி அல்லது நாடா

(இது துரு ஏறு எஃகினுல் ஆனகம்பி அல்லது நாடா ஆகும். [இதன் அகலம் ·01 செ.மீ ·015 செ.மீ வரை].) அல்லது இரும்பு ஆக்ஸைடு (Fe_2O_3) ·0025 செ.மீ தடிமனுக்குப் பூசப்பட்ட காகித நாடாவாகவும் இருக்கலாம். இதுவும் எஃகு நாடாவிற்குப் பதிலாக பயன்படலாம். (இதன் மீது தான் ஒலிப்பதிவு செய்யப்படுகிறது. நாடாக்களின் பண்புகள் தேவைக்கேற்றவாறு மாற்றம் செய்யப் படுகின்றன.

P, Q என்ற இரு வட்டுக்களிடையே இந்த நாடா ஓடிக் கொண்டிருக்கும். P என்ற வட்டில் நாடா சுற்றப்பட்டு Q என்ற வட்டால் நாடா இழுக்கப்படுகிறது. Q என்ற வட்டு ஒரு மோட்டாரினுல் சீரான வேகத்துடன் P யிலிருந்து பிரித்து நாடாவை இழுக்கும். இப்படி ஓடும் நாடா A, B என்ற தடுப்பு வட்டுகளுக்கிடையே சீராக ஓடுமாறு அமைக்கப் படுகிறது. நாடாவின் சீரான வேகம் ஏறத்தாழ வினுடிக்கு 1·5 மீட்டர்கள்.

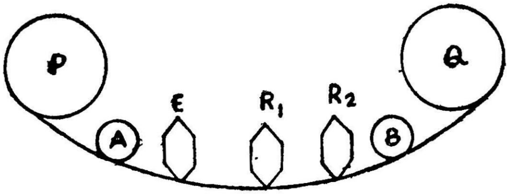
2. அழிக்கும் பகுதி (Wiping part)

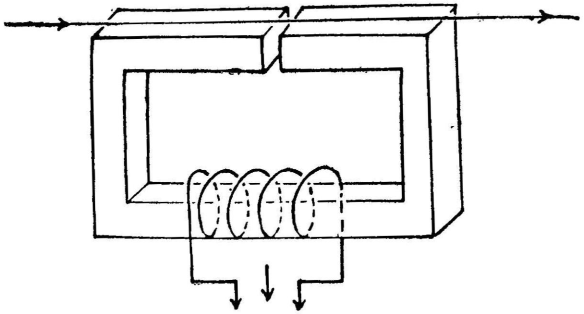
P வட்டிலிருந்து *Q*விற்கு நாடா நகரும்போது முதலில் அது *E* என்ற அழிப்பானைக் கடந்து செல்லும். அழிப்பான் என்பது ஒரு மின் காந்தம். இது நாடாவை ஒட்டி இருக்கும். இதில் ஒரு (தேவையான அளவு) நேர் மின்னேட்டம் இருக்கும். இதனுல் இதைக் கடக்கும் காந்த நாடாவின் மீது எந்தப் பதிவீடும் இல்லாமல் செய்துவிடும். இதனுல் பதிவு செய்யப்படும் காந்த நாடாவில் முன்பு ஏதாவது பதிவீடு இருந்தால் அது உடனே அழிக்கப்பட்டு அடுத்த பதிவீட்டிற்கு ஏற்றதாகச் செய்யப்படும்.

3. பதிவு செய்யும் பகுதி R

இது ஒரு மின்காந்தமாகும். இதன்மீது ஒரு கம்பிச் சுருள் சுற்றப்பட்டிருக்கும். இந்தக் கம்பிச் சுருளில் ஒரு நேர்மின்னேட்டம் இருக்கும். இந்தக் கம்பிச் சுருள் பெருக்கிக்கு இணைக்கப்பட்டிருக்கும். ஒலி பெருக்கி மைக்ரோஃபோனிற்கு இணைக்கப்பட்டிருக்கும். மைக்ரோஃபோன் முன்னுல் ஒலி எழுப்பப்படும்போது அது கேட்கும் எல்லைக்குட்பட்ட அதிர்வெண்ணுடைய மின் அலைவு களாக மாற்றப்படும். இவை பெருக்கியால் பெருக்கப்பட்டு மின் காந்தத்தின் சுருளுக்கு அனுப்பப்படுகிறது. இந்த மாறு மின்னேட்டம் காந்தப் பாய்வை (Magnetic flux) அதன் வலிமைக்கு ஏற்றபடி மாற்றுகிறது. இந்த மின்காந்தத்தின் முனைகளுக் கிடையே காந்த நாடா நகர்ந்து கொண்டிருக்கும். காந்த நாடா

மின் காந்தத்தின் பாய்வு மாற்றங்களுக்கு ஏற்றபடி காந்தமாக்கப் படும். இப்படி காந்தமாக்கப்பட்ட காந்த நாடாவில் மைக்ரோ ஃபோன் முன்னல் எழுப்பப்பட்ட ஒலிக்கு ஏற்றவாறு பதிவு இருக்கும்.





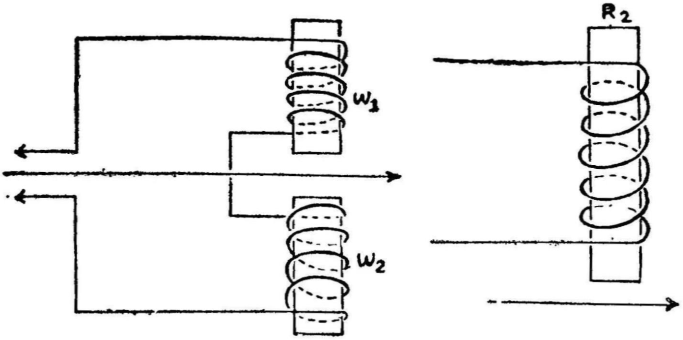
படம் 120

ஒலிப்பதிவு காந்த நாடாவில் நீள வாக்கிலும் குறுக்காகவும் இரு முறைகளில் செய்யப்படலாம். நீளவாக்கு முறையில் காந்தப் புலம் நாடா நகரும் திசைக்கு இணையாக இருக்கும். குறுக்கு முறையில் காந்தப் புலம் நாடா நகரும் திசைக்கு செங்குத்தாக இருக்கும்.

4. ஒலி மீட்பு செய்யும் பகுதி R_2

ஒலி மீட்பு செய்யும் பகுதி ஒரு சிறிய இரும்பு கட்டைப் போன்றது. அதன் ஒரு முனை எப்போதும் நகரும் நாடாவைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும். இந்த இரும்புக் கட்டையின் மீது ஒரு கம்பிச் சுருள் சுற்றப்பட்டிருக்கும். இந்தச் சுருளின் முனைகள் ஒலி பெருக்கிக்குப் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். காந்த நாடா சீரான வேகத்தில் நகரும்போது இந்த இரும்புக் கட்டையில் காந்தப் பாய்வு மாறுபடும். இதை அதன்மீது சுற்றப்பட்டிருக்கும் கம்பிச் சுருள் உணரும். இதனல் கம்பிச் சுருளில் ஒரு மாறும் மின்னியக்கு

விசை (Varying E. M. F.) தூண்டடப்படும். இப்படித் தூண்டடப் பட்ட மின்னியக்கு விசை பெருக்கியினுல் பெருக்கப்பட்டு ஒலிப் பானுல் ஒலியலைகளாக மாற்றப்படும்.



படம் 121

அழிக்கும் பகுதி E, பதிவீடு செய்யும் பகுதி R_1, ஒலி மீட்பு செய்யும் பகுதி R_2 ஆகிய இவை மூன்றும் (படம் 120) வெப்ஸ்டர் ஹெட் (Webster Head) என்ற (ஒரே பகுதியாக) அமைக்கப்பட லாம். W_1, W_2 என்ற இரு கம்பிச் சுருள்கள் (படம் 121) ஒரே இரும்புக் கட்டையில் சுற்றப்பட்டு இருக்கின்றன. இதில் ஒன்றை பதிவீடு செய்யவோ அல்லது ஒலி மீட்பு செய்யவோ பயன்படுத்திக் கொள்ளலாம். மற்றது பதிவீட்டை அழிக்கப் பயன்படும். காந்த நாடா இந்த இரும்புக்கட்டையில் உள்ள ஒரு சிறிய இடைவெளி வழியாக நகரும்படி அமைந்திருக்கும். ஒலிப்பதிவு செய்வதும், ஒலி மீட்பு செய்வதும் முன்பு கூறியபடியேதான்.

காந்த முறைப் பதிவீட்டின் பயன்கள்

காந்த நாடாவின் மீதுள்ள பதிவை அழித்து நாடா மீண்டும் மீண்டும் பதிவுக்குப் பயன் படுத்தப் படுவதால் இந்த முறை மிகவும் நன்மையானதாகும். சாதாரண பேச்சுக்களையும் இசை ஒலிகளையும் எளிய முறையில் பதிவு செய்யலாம். அத்துடன் வானொலிப் பெட்டி வெளியிடும் இசை, பேச்சுகள், நாடகங்கள் ஆகியவை பதிவு செய்யப்பட்டு தேவையானபோது மீண்டும் கேட்க உதவுகிறது. இந்தக் காந்தப் பதிவீட்டினுல் வானொலி நிலையங்களில் வேலை எளிதாகிறது. ஒலிபரப்பு செய்யப்படும் இசை, பேச்சுகள், நாடகங்கள் போன்றவை முன் கூட்டியே பதிவு செய்யப்பட்டு வேண்டிய நேரங்களில் ஒலி பரப்பப்படுகின்றன.

புகைப்படத் துறையில் கூட ஒலியியல் முறையில் பதிவு செய்யப்படும் ஒலிப்பாதையை இந்த முறைக்கு மாற்ற முயற்சிகள் செய்யப்படுகின்றன.

வினாக்கள்

1. தட்டில் ஒலிப்பதிவு செய்யும் முறையையும், அதிலிருந்து ஒலி மீட்பு செய்யும் முறையையும் விளக்கு.

2. ஒலியியல் முறையில் ஒலியை மெல்லேடுகளில் (film) பதிவு செய்யும் முறையினை விளக்கு.

3. காந்தவியல் முறை ஒலிப்பதிவு என்றால் என்ன? ஒரு நாடா ஒலிப்பதிவு கருவியை விளக்கி அது வேலை செய்யும் முறையை விவரித்து எழுது.

4. சிறு குறிப்பு வரைக :

(a) காந்த ஒலி மீட்புக் கருவி. (b) ஏயோ விளக்கு. (c) மெல் லேடுகளில் ஒலிப்பதிவு செய்தல். (d) காந்தவியல் முறையில் ஒலிப்பதிவு செய்தல்.

BIBLIOGRAPHY

1. **Fundamentals of Acoustics,** Lawerence E. Kinsler and Austin R. Frey., John Wiley & Sons Inc., Newyork.

2. **Vibration & Sound,** Philip M. Morse, Mcgraw Hill Book Co., Inc , Newyork.

3. **A Text book of Sound,** D. R. Khanna, M.Sc., and R. S. Bedi, M Sc., Atmaram & sons, Delhi-6.

4. **Acoustics,** Alexander wood, M.A., D.Sc., Blackie & Sons Limited, London.

5. **A Text book of Sound,** A. B. Wood, D.Sc., G. Bell & Sons Ltd., London.

6. **A Text book of Sound,** R. L. Saihgal and H. R. Sarna, S. Chand & Co., Delhi.

7. **Sound,** Frederick G. Mee, Heinemann Educational Book Ltd., London.

8. **Sound,** S. Ramamoorthy, B.Sc. (Hons). and K. Radha, National Publishing Co., Madras-1.

9. **Sound,** S. R. Govindarajan and T. Murugaian, Rochouse & Sons Private Limited, Madras-1

10. **A Text book of Sound,** L. P. Sharma and H. C. Saxena, S. Chand & Co., Delhi-6.

11. **Sound,** J W. Capstick, S. Chand & Co., Delhi-6.

12. **Ultrasonics,** Benson Carlin, Mc Graw Hill Book Company, Newyork.

கலைச்சொற்கள்

A

Absolute	—	தனி, சார்பிலா
Absorption	—	உட்கவரல்
Absorption Co-efficient	—	உட்கவர் குணகம்
Acceleration	—	முடுக்கம்
A. C. field	—	ஏ. ஸி. புலம்
Acoustic Interferometer	—	ஒலி குறுக்கீட்டுமானி
Acoustics	—	ஒலியியல்
Acoustics of Buildings	—	கட்டிட ஒலியியல்
Adiabatic	—	வெப்ப மாற்றீடற்ற
Air Cavities	—	காற்றுக் குழிவுகள்
Air Column	—	காற்றுத் தம்பம்
Air gap	—	காற்றிடை வெளி
Algebraic sum	—	குறியியல் தொகை
Alignment	—	இணைப் பொருமை
Alternate contact	—	தொடுவிடு இணைப்பு
Alternating current	—	மாறுதிசை மின்னோட்டம்
Alternator	—	திசைமாற்றி
Amplification	—	பெருக்கம்
Amplifier	—	பெருக்கி
Amplifier noise	—	பெருக்கியின் ஓசை
Amplitude	—	வீச்சு
Analyser	—	பகுப்பான்
Analysis	—	பகுப்பாய்வு
Analytical	—	பகுப்பாராய்ச்சி வழிபற்றுகிற
Angle of reflection	—	எதிரொளிப்புக் கோணம்
Angular momentum	—	கோண உந்தம்
Angular velocity	—	கோணத் திசைவேகம்
Anharmonic	—	இசையிலா அலையியற்றி
Anistropic	—	திசையொவ்வாப் பண்புகளையுடைய
Anistropic crystal	—	திசையொவ்வாப் பண்புகளையுடைய படிகம்
Annular	—	வளை வடிவ
Anode	—	நேர்மின்வாய்
Anode circuit	—	நேர்மின்வாய் சுற்று
Anode current	—	நேர்மின்வாய் மின்னோட்டம்
Antenna	—	அன்டென்னு வானலைப்பற்றுக்கம்பி

Anticathode — மாற்று எதிர்மின்வாய்
Anticlockwise — இடஞ்சுழியாக
Anti-reverberation — எதிர் முழக்கத்தணிப்பு
Anti-node — எதிர்க்கணு
Anti-symmetric — எதிர்சமச்சீரான
Aperiodic — நேரத்தொடர்பற்ற
Aperture — துளை
Apex — உச்சி
Apparatus — ஆய்கருவி
Apparent — தோற்ற
Arc — வில்
Architect — கட்டிடக் கலைஞர்
Area of track — பாதையின் பரப்பு
Articulation — பேச்சொலி
Asymmetric — சமச்சீரற்ற
Assembly — தொகுதி
Assumption — தற்கோள்
Asymtote — ஈற்றணுகி
Atmospheric pressure — வளிமண்டல அழுத்தம்
Atmospherics — வளிமின் குழப்பங்கள்
Atmosphere — வளி மண்டலம்
Attenuator — மெலிப்பான்கள்
Attraction — ஈர்ப்பு
Audibility — கேள்திறன் (செவியுணர் திறன்)
Audible limit — கேள்திறன் எல்லை
Auditor — கேட்பவர்
Audio frequency — செவியுணர் அதிர்வெண்
Andiometer — கேள்திற மானி
Auditory canal — செவிக்குழாய்
Auditory nerves — செவியுணர் நரம்புகள்
A. F. Oscillator — A. F. அலையியற்றி
Average — சராசரி
Axis — அச்சு
Axial line — அச்சுக்கோடு
Axis of rotation — சுழற்சி அச்சு

B

Band — பட்டை
Bar — தண்டு
Base — அடித்தளம்

Ball Bearing — மணிப் பொதிகை, (உராய்வு குறைய)
Band head — பட்டை முகப்பு
Band width — பட்டை அகலம்
Basser notes — தாழ்ந்த சுரம்
Basser voice — தாழ்ந்த குரல்
Beam — கற்றை
Beats — விம்மல்கள்
Beat-tones — விம்மல் ஒலிகள்
Bird-Call — புள்ளொலி
Blast — வீச்சு
Bevelled Edge — சரிந்த விளிம்பு
Bowed — வில்லதிர்க்கப்பட்ட
Bowed String — வில்லதிர்க்கப்பட்ட கம்பி
Bridge — கூர்க்கட்டை (குதிரை)
Bilateral — இரு பக்கத்திற்குரிய
Binaural beats — இரு செவி விம்மல்
Binaural Hearing — இரு செவி கேள்வி
Blocking Oscillator — தடை அலையியற்றி
Broadcast — ஒலிப்பரப்பு
Building Acoustics — கட்டிட ஒலியியல்
Building material — கட்டிடப் பொருள்
Bulk modulus — பரும மீட்சிக் குணகம்
Bulk strain — பருமத் திரிபு
Bulk stress — பருமத் தகைவு
Bump — புடைப்பு
Buoyancy — மிதப்பாற்றல்
Bypass — மாற்றுவழி

C

Cable — கேபிள்
Calibration — அளவீடு செய்தல்
Camera — காமிரா, ஒளிப்படப்பெட்டி
Capacitance — மின்தேக்குத் திறன்
Capacitative Coupling — மின்தேக்கு இணைப்பு
Carrier wave — ஊர்தி அலை, எடுத்துச் செல்லும் அலை
Cathode — எதிர்மின்வாய், கேதோடு
Cathode ray — எதிர்மின் கதிர்
Cathode ray oscillograph — எதிர்மின் கதிர் அலைவரைவி

Cavity — உட்குழிவு
Cavitation — நீர்க்குமிழி
Cell — மின்கலம்
Central Axis — மைய அச்சு
Celotex — செலோ டெக்ஸ்
Charged — மின்னூட்டம் பெற்ற
Characteristics — சிறப்பு இயல்புகள்
Chemical Effects — வேதியியல் விளைவுகள்
Chronograph — கால வரைவி
Circuit — சுற்று
Circuitous route — சுற்றுப் பாதை
Circumference — பரிதி
Classification — பாகுபாடு, வகைப்படுத்தல்
Clockwise — வலஞ் சுழியாக
Clock work — இயந்திரமுறை
Clock work mechanism — மணிப்பொறி ஏற்பாடு
Closed pipes — மூடிய குழல்
Coalgas — நிலக்கரி வாயு
Co-efficient of damping — தடையுறு குணகம் (எண்)
Coil — சுருள்
Column — தம்பம்
Combinations — கூடல்
Combination tone — கூட்டோசை
Combination Principle — கூட்டுத் தத்துவம்
Comparison — ஒப்பீடு
Complex notes — பல்கூட்டு ஒலி
Complex vibration — பல்கூட்டதிர்வு
Component — கூறு
Component notes — சுருதிக்கூறு
Composite notes — சுருதிகளின் தொகுப்பு
Compound note — கலப்பு ஒலி
Compression — இறுக்கம்
Compressional wave — இறுக்க அலை
Concentric — பொதுமைய, ஒருமைய
Concord — ஒத்திசை
Condenser — மின்தேக்கி
Condensation — நெருக்கம், இறுக்கம்
Conical horn — கூம்பு வடிவக்கொம்பு
Consonance — ஒத்திசை
Consonance & dissonance — ஒத்திசையும், ஒவ்வாஇசையும்

Constant — மாறிலி
Crystal — படிகம்
Crystal microphone — படிகமைக்ரோபோன்
Crystalloid — படிகவியல்
Crystal axis — படிகத்தின் அச்சு
Cylinder — நீள் உருளை
Cylindrical wave — உருளை வடிவ அலை

D

Damped — தடையுற்ற
Damped Oscillation — தடையுறு அலைவுகள்
Damping factor — தடைக்கூறு
Damping pad — தடையிடும் திண்டு
Dark — இருண்ட
Dead beat — அலைவிலா
Dead load — பாழ்ச்சுமை
Decay — சிதைவு
Decay of vibration — அலைவுகளின் சிதைவு
Decibel — டெசிபெல்
Decoupling — இணைப்பு நீக்கம்
Deflection — விலக்கம்
Deflector plates — ஒதுக்கத் தகடுகள்
Define — வரையறு
Definition — வரையறை
Deformation — வடிவ மாற்றம்
Density — அடர்த்தி
Depression — இறக்கம், பள்ளம்
Density of the track — பாதையின் அடர்த்தி
Depletion of Sound — ஒலி குறைதல்
Detector — மின் அலை காட்டும் கருவி
Depth Sounding — ஒலிமுறையில் ஆழங்காணல்
Design — அமைப்பு
Deviation — திசைமாற்றம்
Diameter — விட்டம்
Diaphragm — இடைத்திரை
Diatonic scale — டயாடானிக் சுரவரிசை
Differentiation — வேறுபாடு, வகைப்படுத்தல்
Differential tone — பகுவோசை
Dimension — பரிமாணம்
Dimentional Method — பரிமாண முறை

Diode — டயோடு
Direct Current — நேர்த்திசை மின்னோட்டம்
Directional property — திசை இயல்பு
Discord — ஒவ்வா இசை
Distortion — உருக்குலைவு
Doppler Effect — டாப்ளர் விளைவு
Droning Instrument — ஒத்து
Disturbing Echoes — துன்புறுத்தும் எதிரொலிகள்
Dynamic Equilibrium — இயக்கச் சமநிலை
Dynamic method — இயக்க வகைமுறை
Dynamics — இயக்கவியல்

E

Earphone — செவி ஒலிப்பான்
Earthed — நில இணைப்பு
Ebonite — எபொனைட்
Eccentric — வேற்றுமைய
Echelon — படியணி
Edge Effect — ஓரவிளைவு
Efficiency — இயக்குத் திறம்
Elastic Constant — மீட்சி மாறிலி
Elastic Limit — மீட்சி எல்லை
Elastic modulus — மீட்சி குணகம்
Elastic Vibration — மீட்சியியல் அதிர்வு
Elastic waves — மீட்சி அலைகள்
Elasticity — மீட்சியியல்
Electric potential — மின்னழுத்தம்
Electro magnet — மின்காந்தம்
Electron — எலக்ட்ரான், எதிர்மின்னணு
Electrongun — எதிர்மின்னணு மூலம்
Electrode — மின்வாய்
Ellipse — நீள்வட்டம்
Elliptical Orbit — நீள்வட்டச் சுற்றுப்பாதை
Energy — ஆற்றல்
Energy Intensity — ஆற்றல்செறிவு
Energy flow — ஆற்றற் பாய்கை
Epoch — தொடக்கக் கட்டம்
Equal Temperament — சமசுதி அமைப்பு
Equation — சமன்பாடு
Equilibrium — சமநிலை

Equipment — சாதனம்
Error — பிழை
Excess — மிகுதியான
Experiment — பரிசோதனை
Experimental Error — பரிசோதனைப் பிழை

F

Fading — மங்குதல்
Filament — இழை
Film — மெல்லிய ஏடு, மெல்லேடு
Filter — வடிகட்டி
Flatnote — தாழ்சுரம்
Flexible — நெகிழ்ச்சியான
Flickering noise — சிமிட்டும் ஒலி
Fluorescence — ஒளிர்தல்
Fourier's theorm — ஃபூரியர் தேற்றம்
Frequency — அதிர்வு எண்
French horn — பிரெஞ்சு ஒலிப்பான்
Frequency of rotation — சுழற்சி அதிர்வு எண்
Fundamental frequency — அடிப்படை அதிர்வு எண்
Fundamental Interval — அடிப்படை இடைவெளி
Fundamental note — முதல்சுரம், அடிப்படைசுரம்,
Fundamental tone — முதல் ஓசை
Fundamental unit — அடிப்படை அலகு

G

Galton whistle — கால்டன் ஊதல்
Generator — இயற்றி
Geometrical axis — வடிவியல் அச்சு
Geometrical progression — பெருக்க மாற்றத் தொடர்
Grid — கிரிடு

H

Harmonic Oscillator — சீரியல்பு அலை இயற்றி
Harmonics — அடுக்குச் சுரங்கள்
Headphone — காது ஒலிப்பான்
Horizontal Component — கிடைக்கூறு
Hum — 'ஹம்' ஒலி
Humidity — ஈரப்பதம்

I

Indicator — காட்டி
Infinity — எண்ணிலி
Inlet — ஏர்க்குழாய்
Instrument — கருவி
Insulation — காப்பு
Insulated — காப்பிடப்பட்ட
Intensity — செறிவு
Interference — குறுக்கீடு
Integral multiple — முழு எண் மடங்கு
Integration — தொகுத்தல்
Inter Communication — உள் தொடர்பு
Intermediate phase — இடர்நிலைக் கட்டம்
Interspace — இடைவெளி
Isothermal — வெப்பநிலை மாறு
Isothermal Compression — வெப்பநிலை மாறு இறுக்கம்
Isothermal Expansion — வெப்பநிலை மாறு பெறுக்கம்

J

Jet tone — ஜெட் சுரம்
Jet Plane — ஜெட் விமானம்

K

Keynote — மூலச்சுரம்
Kilocycle — கிலோ சைக்கிள்
Kinetic Energy — இயக்க ஆற்றல்
Kink — நெளிவு
Knife Edge — கத்திமுனை, கூர்க்கட்டை
Knob — குமிழ்
Kund't method — குண்ட் முறை
Kund't tube — குண்ட் குழல்

L

Laboratory — ஆய்வுக் கூடம்
Laboratory Method — ஆய்வுக்கூட முறை
Lagging — பின்தங்கல்
Laplace correction — லாப்பாஸ் திருத்தம்
Laws of Vibration — அதிர்வு விதிகள்
Layer — அடுக்கு

Limit of audibility — செவியுணர் எல்லை
Linear Timebase — நேர்க்கோட்டுக் காலவடி
Linear strain — நீட்சித் திரிபு
Lissajou's figures — இலிஸாஜுஸ் படங்கள்
Logarithm — லாகிர்தம்
Longitudinal Extension — நீளவாகு நீட்சி
Longitudinal Stress — நீட்சித் தகைவு
Longitudinal vibration — நெட்டலைவு
Longitudinal wave motion — நெட்டலை இயக்கம்
Loudness — உரப்பு
Loudspeaker — ஒலிப்பான்

M

Magneto striction — காந்தப்பரிமாண மாற்றம்
Magnitude — எண் மதிப்பு
Magnitude & Direction — எண் மதிப்பும், திசையும்
Maintained Vibration — காப்பதிர்வுகள்
Major chord — பேரிசைத் தொகுதி
Manometric flame — அழுத்த வேறுபாட்டுச் சுடர்
Mass — பொருண்மை
Master Oscillator — ஆளுகை அலையியற்றி
Maximum — பெருமம்
Medium — ஊடகம்
Melde's Experiment — மெல்டே பரிசோதனை
Melde's String — மெல்டே இழை
Membrane — சவ்வு
Microphone — மைக்ரோஃபோன்
Micro wave — மைக்ரோ அலை
Mike — மைக்
Minimum — சிறுமம்
Minor Chord — சிற்றிசைத் தொகுதி
Modes of propagation — பரப்புகை வகைகள்
Modes of vibration — அதிர்வு வகைகள்
Modulus of Elasticity — மீட்சிக் குணகம்
Moisture — ஈரம்
Monochord — ஒற்றை நாண் கருவி
Mouth piece — வாயருகு கருவி
Musical box — இசைப்பெட்டி
Music — இசை
Musical Note — இசைச்சுரம்
Musical interval — இசை இடைவெளி

N

Natural frequency — இயல் அதிர்வெண்
Negative — எதிர்
Neon lamp — நியான் விளக்கு
Node — கணு
Nodal line — அதிர்விலாக் கோடு
Nodal Point — அதிர்விலாப் புள்ளி
Noise — இரைச்சல், ஓசை,
Note — ஒலி, சுரம்

O

Octave — எண்மம்
Odd number — ஒற்றைப்பட எண்
Odd harmonics — ஒற்றைப்பட அடுக்குச்சுரம்
Order — வரிசை
Organ pipe — ஆர்கான் குழல்
Origin — தோற்றுவாய்
Oscillating disc — அலையும் வட்டு
Oscillation — அலைவு
Oscillator — அலைவு இயற்றி
Oscillograph — அலை வரைவி
Outlet — விடுவாய்
Overdamped — பெருந்தடையுறு
Overlapping — மேற் பொருந்தும்
Overtone — மேற்சுரம்

P

Parabola — பரவளையம்
Parasitic Oscillation — ஒட்டு அலைவு
Partials — பகுதிகள்
Periodicitiy — பருவ நிகழ்வு
Period of Oscillation — அலைவு நேரம்
Period of revolution — சுற்றுநேரம்
Period of rotation — சுழற்சி நேரம்
Perpendicular — நேர்க்குத்துக் கோடு
Phase — கட்டம்
Phase change — கட்டமாற்றம்
Phase difference — கட்ட வேறுபாடு
Phase lag — கட்டக் குறைபாடு

Phase shift	—	கட்டப் பெயர்ச்சி
Phone	—	ஃபோன்
Phonodeik	—	ஃபோனோடைக்
Phonoscope	—	ஃபோனோ ஸ்கோப்
Phonic wheel	—	ஃபோனிக் சக்கரம்
Procedure	—	வழிமுறை
Piano Forte	—	பியானோ ஃபோர்ட்
Piezo Electric Effect	—	அழுத்தமின் விளைவு
Piezo Electric generator	—	அழுத்தமின் இயற்றி
Pitch	—	சுருதி
Plane	—	தளம்
Plane waves	—	சமதள அலைகள்
Plucked string	—	மீட்டிய கம்பி
Positive	—	நேர்
Prongs of tuning fork	—	இசைக்கவையின் கால்கள்
Pressure	—	அழுத்தம்
Pressure head	—	அழுத்த முகடு
Piezo Electricity	—	அழுத்த மின்னியல்
Principle	—	கோட்பாடு
Progressive waves	—	முன்னேறு அலைகள்
Projection	—	எறிதல்
Propagation	—	பரப்பல்
Pure note	—	தனிச் சுரம்

Q

Quadratic equation	—	இருபடிச் சமன்பாடு
Qualitative	—	பண்பியலான
Quality	—	பண்பு
Quality of tone	—	சுரப்பண்பு
Quantitativc	—	அளவியலான
Quantity	—	அளவு
Quartz crystal	—	குவார்ட்ஸ் படிகம்
Quartz Film	—	குவார்ட்ஸ் இழை
Quartz Oscillator	—	குவார்ட்ஸ் அலையியற்றி
Quinke filter	—	குயின்கே வடிப்பான்
Quinke tube	—	குயின்கே குழல்

R

Radiation	—	வீசுக்திர், கதிர்வீச்சு
Radio wave	—	ரேடியோ அலை

Radius	—	ஆரம்
Radius of curvature	—	வளைவு ஆரம்
Rarefaction	—	அடர்குறைப்பு அல்லது தளர்ச்சி
Rarified	—	காற்று நீக்கப்பட்ட
Receiver	—	ஏற்பி
Recording	—	பதிவீடு
Rectangular Aperture	—	நீள் சதுரத்துளை
Rectangular Membrane	—	நீள் சதுரச்சவ்வு
Reed	—	சீவாளி
Reed pipes	—	சீவாளிக் குழாய்
Reference	—	மேற்கோள்
Reproduction of Sound	—	ஒலி மீட்பு
Reservoir	—	தேக்கி,
Resonance	—	ஒத்திசைவு, ஒத்ததிர்வு
Resonant Vibration	—	ஒத்திசை அதிர்வு
Resonator	—	ஒத்ததிர்வி
Restoring force	—	மீட்சி விசை
Resultant	—	தொகுபயன்
Resultant amplitude	—	தொகுப்பு வீச்சு
Resultant displacement	—	தொகுப்பு இடப்பெயர்ச்சி
Resultant vibration	—	தொகுப்பு அதிர்வு
Reverberation	—	எதிர் முழக்கம்
Reverberation time	—	எதிர்முழக்க நேரம்

S

Sag	—	தொய்வு
Saturated	—	தெவிட்டிய
Saxophone	—	சேக்ச ஃபோன்
Scale	—	அளவு கோல்
Scale pan	—	எடைத்தட்டு
Scientific theory	—	அறிவியற் கொள்கை
Screen	—	திரை
Secondary waves	—	இரண்டாம் நிலை அலைகள்
Seebeck tube	—	சீபெக் குழாய்
Seismogram	—	நில நடுக்கப்பதிவு
Seismology	—	நில நடுக்கவியல்
Seismograph	—	நில நடுக்க வரைவி
Sharpness of Resonance	—	ஒத்ததிர்வின் கூர்மை
Selective absorption	—	தேர்ந்துட் கவர்தல்

Selectivity — தேர்திறன்
Sensitive flame — உணர்வுச் சுடர்
Short waves — குற்றலை
Shrill note — கீச்சொலி
Silencer — இரைச்சல் குறைப்பான்
Simple harmonic motion — சீரியல்பு இயக்கம்
Sine curve — சைன் வளைகோடு
Singing flame — பாடும் சுடர்
Siren disc — வட்டுச் சங்கு
Skip distance — தாவு தொலைவு
Sonometer — சோனா மீட்டர்
Sound — ஒலி
Sound image — ஒலிப் பிம்பம்
Sound ranging — ஒலியியல் தொலை அளவீடு
Sound Recording — ஒலிப்பதிவு
Sound Shadow — ஒலிநிழல்
Source — மூலம்
Spherical Waves — கோள அலைகள்
Standard — படித்தர
Standing waves — நிலை அலைகள்
Standard frequency — படித்தர அதிர்வெண்
Standards of frequency — அதிர்வெண் படித்தரங்கள்
Stationary waves — நிலையான அலைகள்
Stationary vibration — நிலையான அதிர்வுகள்
Strain — திரிபு
Stress — தகைவு
Straitions — வரிப் வரிப் பள்ளங்கள்
Stroboscope — ஸ்ட்ராபோஸ் கோப்
Struck string — தட்டி மீட்டிய கம்பி
Substitute — பதிலீடு செய்
Super-position — மேற் பொருந்தல்
Supersonic — ஒலியினும் கடுகிச் செல்லும்
Symmetric — சமச் சீரான

T

Technique — உத்தி
Telephone — தொலைபேசி
Tempered scale — சமசுதி சுரவரிசை
Theory — கொள்கை
Theory of hearing — கேள்வியல் கொள்கை

Theory of consonance — ஒத்திசைவுக் கொள்கை
Thereshold frequency — பயன்தொடக்க அதிர்வெண்
Thrust — அமுக்கம்
Timbre — சுரப்பண்பு
Timebase — காலவடி
Tone control — சுரக் கட்டுப்பாடு
Tonic relationship — ஓசைத் தொடர்பு
Tonometer — ஓசை மானி
Toothed wheel — பல் சக்கரம்
Transverse wave — குறுக்கலைகள்
Transverse wavemotion — குறுக்கலை இயக்கம்
Tune — இசைவு செய்
Tuner — இசைச்சுரக் குமிழ்
Tuning fork — இசைக்கவை
Type — வகை

U

Ultrahigh frequency — மிக உயர்ந்த அதிர்வெண்
Ultrasonics — செவியுணரா ஒலி
Ultrasonic wave — செவியுணரா ஒலி அலை
Undamped oscillation — தடையுறு அலைவுகள்
Undulatory theory — அலையியல் கொள்கை
Unison — ஒத்திசைவு
Units — அலகுகள்
Upper limit of audibility — செவியுணர்வின் மேல் எல்லை

V

Variable — மாறி
Variation — மாற்றம்
Velocity — திசைவேகம்
Velocity Resonance — திசைவேக ஒத்திசைவு
Vertical component — செங்குத்துக் கூறு
Vibration — அதிர்வு
Vibrational direction — அதிர்வு திசை
Vibrational energy — அதிர்வு ஆற்றல்
Vibrational segment — அதிர்வு நிலைக்கூறு
Vibration of memberane — சவ்வின் அதிர்வுகள்
Vibration ratio — அதிர்வுத் தகவு
Vibration microscope — அதிர்வு நுண்ணோக்கி
Vibration of plates — தகடுகளின் அதிர்வு

Vibrator — அதிர்வி
Vocal chord — குரல் நாண்
Vocal organ — குரல் உறுப்புகள்
Volume — பருமன்

W

Wave analysis — அலை பகுப்பாய்வு
Wave band — அலைப்பட்டை
Wave equation — அலைச் சமன்பாடு
Wave filter — அலை வடிகட்டி
Wave front — அலைமுகம்
Wave guide — அலை வழிப்படுத்தி
Wave length — அலைநீளம்
Wave motion — அலை இயக்கம்
Wave number — அலை எண்
Wave theory — அலைக் கொள்கை
Wave train — அலைத்தொடர்
Wave velocity — அலைத்திசை வேகம்
Wind Instruments — காற்று இசைக்கருவிகள்

X

Xenon — செனன்
X-rays — x-கதிர்கள்

Y

Young's modulus — யங்கின் குணகம்
Yield point — இளகு நிலைப்புள்ளி

Z

Zero — சுழி
Zero order — சுழி வரிசை
Zonal harmonics — மண்டல அடுக்குச் சுரங்கள்
Zones of Silence — அமைதி மண்டலம்